ABC DO

OSCILOSCÓPIO

2ª Edição

Mário Ferreira Alves (malves@dee.isep.ipp.pt)
Departamento de Engenharia Electrotécnica
Março de 1998

PREFÁCIO

O osciloscópio é, provavelmente, o instrumento de medição mais versátil. De facto, apesar deste instrumento permitir apenas a visualização e análise de grandezas eléctricas, a sua aplicação não se limita a este tipo de grandezas. A utilização do transdutor adequado permite utilizar o osciloscópio para a análise de sinais não eléctricos, tais como temperatura, pressão, luminosidade, etc.

O facto do osciloscópio ser utilizado em inúmeras aplicações motivou a disponibilização deste texto, originalmente desenvolvido para a cadeira de Instrumentação e Medidas I, do 1º ano do Bacharelato de Electrónica Industrial, para qualquer pessoa que pretenda adquirir um conhecimento básico deste instrumento.

O leitor deverá ter, necessariamente, um conhecimento básico de electricidade, de modo a estar apto a apreender os conceitos aqui tratados.

O 'ABC do Osciloscópio' baseia-se fundamentalmente num trabalho sobre osciloscópio elaborado pela *Tektronics* ([Tektronics, 1997a]), disponível na WWW (*World Wide Web*) da *Internet*. Esta é, na opinião do autor, uma das melhores referências sobre osciloscópio, conseguindo conciliar uma linguagem de fácil compreensão (incluindo inúmeras figuras elucidativas) com conceitos teóricos fundamentais. Desta forma, consegue, ao mesmo tempo, dar uma perspectiva de âmbito eminentemente prático e abordar assuntos extremamente importantes e não explorados noutras referências (tais como o estudo de massa e terra, por exemplo).

Note-se que a maior parte da bibliografia consultada, tal como [Helfrick, 1991] ou [Jones, 1991] (dois dos livros de instrumentação mais utilizados), aborda o osciloscópio de uma forma muito pouco prática. Do meu ponto de vista, o leitor fica com muito poucos conhecimentos práticos da utilização do osciloscópio.

É importante que o leitor compreenda que a leitura deste texto não é suficiente para se saber utilizar um osciloscópio. É fundamental a componente laboratorial, isto é, a utilização (real) de um ou mais osciloscópios.

Para o leitor mais interessado, aconselha-se uma "visita" às páginas WWW dos diversos fabricantes de osciloscópios (e outros instrumentos de medição), nomeadamente a *Tektronix* ((*http://www.tek.com*), a *Fluke* (*http://www.fluke.com*), a *Lecroy* (*http://www.lecroy.com*) e a *Yokogawa* (*http://www.yokogawa.co.jp*).

Embora os osciloscópios digitais tenham muito mais funcionalidades que os analógicos, os seus princípio de funcionamento, modo de utilização, comandos e métodos de medição são bastante parecidos. Por esta razão, o funcionamento deste tipo de osciloscópio é explicado conjuntamente com o osciloscópio digital.

Agradeço aqui aos meus colegas do Grupo de disciplinas de Ciências Básicas de Electrotecnia pelo bom ambiente criado, tanto a nível profissional como a nível pessoal. Quero agradecer particularmente ao Eng. Mesquita Guimarães pela confiança em mim depositada ao me atribuir a regência da Cadeira de Instrumentação e Medidas I e ao Eng. Marinho Sousa, que me ensinou o *b-a-ba* do laboratório de medidas eléctricas.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO **7**

1.1. APLICAÇÕES 9
1.2. GRANDEZAS ELÉCTRICAS MENSURÁVEIS 11

2. OSCILOSCÓPIO ANALÓGICO VS. DIGITAL **14**

2.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO OSCILOSCÓPIO ANALÓGICO 17
2.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO OSCILOSCÓPIO DIGITAL 20
2.3. MÉTODOS DE AMOSTRAGEM (NOS OSCILOSCÓPIOS DIGITAIS) 21
2.4. CARACTERÍSTICAS RELEVANTES 24

3. INTERLIGAÇÃO ENTRE O OSCILOSCÓPIO E OS CIRCUITOS **28**

3.1. CONCEITO DE MASSA E TERRA 28
3.2. PONTAS DE PROVA 30
3.3. COMPENSAÇÃO DO CIRCUITO DE ATENUAÇÃO (OU DA PONTA DE PROVA) 33

4. DESCRIÇÃO DOS COMANDOS **36**

4.1. COMANDOS DO ÉCRAN (EIXO DOS ZZ) 36
4.2. COMANDOS DO SISTEMA VERTICAL (EIXO DOS YY) 36
4.3. COMANDOS DO SISTEMA HORIZONTAL (EIXO DOS XX) 41
4.4. COMANDOS DO SISTEMA DE SINCRONISMO 44

5. TÉCNICAS DE MEDIÇÃO **50**

5.1. O ÉCRAN 50
5.2. AJUSTE INICIAL DOS COMANDOS 51
5.3. MEDIÇÃO DE TENSÃO 52
5.4. MEDIÇÃO DE PERÍODO E FREQUÊNCIA 54
5.5. MEDIÇÃO DE TEMPO DE SUBIDA 55
5.6. MEDIÇÃO DE DESFASAMENTO 56
5.7. SINCRONIZAÇÃO DE FORMAS DE ONDA COMPLEXAS 58
5.8. SINCRONIZAÇÃO DE DUAS FORMAS DE ONDA 59

6. REFERÊNCIAS **60**

7. APÊNDICES **62**

7.1. PRINCÍPIO DO *EFEITO HALL* 62
7.2. ANÁLISE DE SINAIS DE VÍDEO 62
7.3. MÉTODO ELÍPTICO PARA MEDIÇÃO DE DESFASAMENTO 63

1. INTRODUÇÃO

O osciloscópio é um instrumento (de medição) que permite visualizar graficamente sinais eléctricos. Na maioria das aplicações, o osciloscópio mostra como é que um sinal eléctrico varia no tempo. Neste caso, o eixo vertical (YY) representa a amplitude do sinal (tensão) e o eixo horizontal (XX) representa o tempo. A intensidade (ou brilho) do écran é por vezes chamada de eixo dos ZZ (Figura 1).

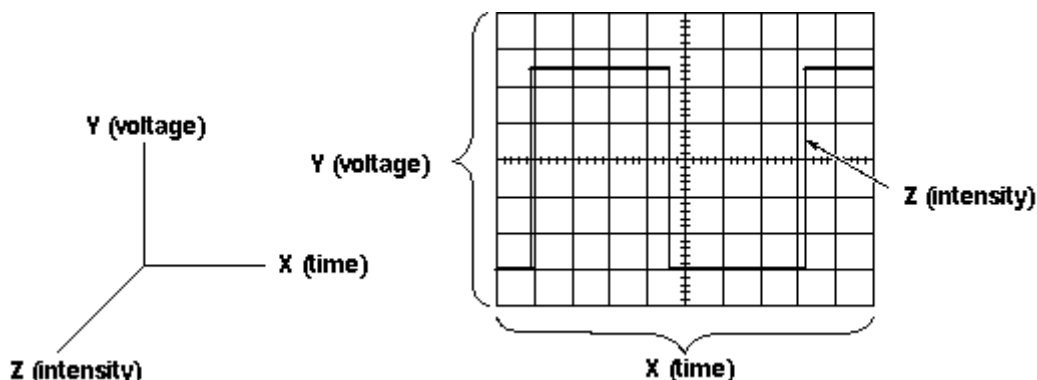



Figura 1: Eixos X-Y-Z num osciloscópio ([Tektronics, 1997a])

Um gráfico deste tipo poderá dizer-nos diversas coisas acerca de um sinal, nomeadamente:

- Permite determinar valores de tensão e temporais de um sinal.
- Permite determinar a frequência de um sinal periódico.
- Permite determinar a componente contínua (CC) e alternada (CA) de um sinal.
- Permite detectar a interferência de ruído num sinal e, por vezes, eliminá-lo.
- Permite comparar dois sinais num dado circuito, nomeadamente a entrada e a saída, permitindo tirar as mais variadas conclusões, tais como se um dado componente está avariado.

Outras potencialidades surgem na utilização do modo 'xy', bem como nos osciloscópios digitais, que incorporam muitas funcionalidades adicionais.

O osciloscópio tem um aspecto que se assemelha a um televisor, exceptuando a grelha inscrita no écran e a grande quantidade de comandos. O painel frontal do osciloscópio tem os comandos divididos em grupos, organizados segundo a sua funcionalidade. Existe um grupo de comandos para o controlo do eixo vertical (amplitude do sinal), outro para o controlo do eixo horizontal (tempo) e outro ainda para controlar os parâmetros do écran (intensidade, focagem, etc.).

O osciloscópio utilizado no Laboratório de Instrumentação e Medidas Eléctricas ([Hitachi, 1990]), representado na Figura 2, é um exemplo clássico de um osciloscópio analógico.

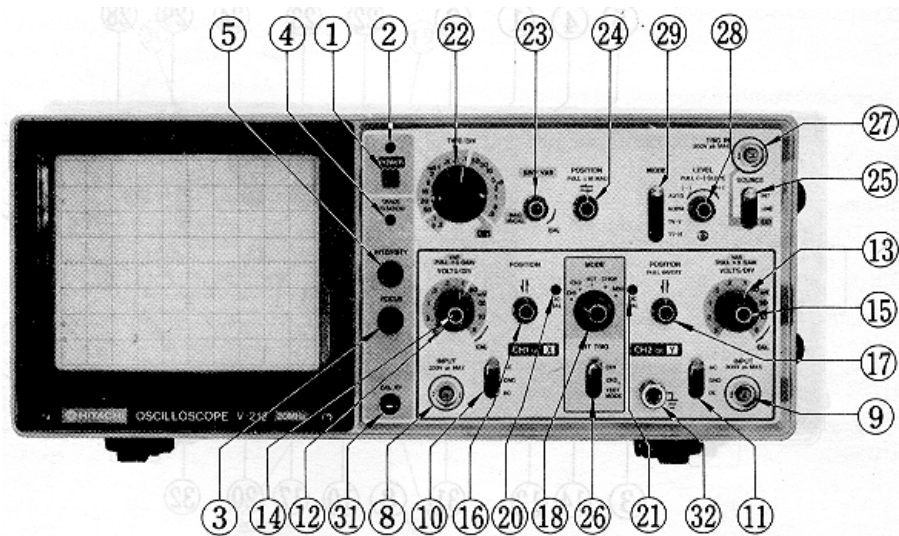



Figura 2: Osciloscópio do laboratório ([Hitachi, 1990])

Relativamente ao mesmo osciloscópio, podem caracterizar-se os seguintes blocos funcionais:

- Comandos do Écran (eixo dos ZZ):
  - 1 - Interruptor de Alimentação
  - 3 - Focagem do feixe
  - 4 - Rotação do traço
  - 5 - Intensidade do feixe
- Comandos do Sistema Vertical (eixo dos YY):
  - 8 (9) - Terminal de ligação do canal 1 (2)
  - 10 (11) - Acoplamento de entrada do canal 1 (2) (AC, GND, DC)
  - 12 (13) - Ganho vertical do canal 1 (2)
  - 14 (15) - Ganho vertical (ajuste contínuo) e amplificação de 5 X do canal 1 (2)
  - 16 (17) - Posicionamento vertical do canal 1 (2)
  - 18 - Modo do sistema vertical (CH1, CH2, ALT, CHOP, ADD)
  - 20 (21) - Balanceamento DC do canal 1 (2)
- Comandos do Sistema Horizontal (eixo dos XX):
  - 22 - Velocidade de varrimento (Time/Div)
  - 23 - Velocidade de varrimento (ajuste contínuo)
  - 24 - Posicionamento horizontal do sinal e zoom de 10 X

- Comandos do Sistema de Sincronismo:
  25 - Fonte do sistema de sincronismo (INT, LINE, EXT)
  26 - Fonte do sistema de sincronismo (CH1, CH2, VERT MODE)
  27 - Terminal de ligação da fonte de sincronismo externa
  28 - Nível e inclinação de disparo
  29 - Modo do sistema de sincronismo (AUTO, NORM, TV-V, TV-H)

A utilização destes comandos será explicada mais à frente, em '4. Descrição dos Comandos'.

1.1. Aplicações

O osciloscópio é utilizado por diversos profissionais, num sem número de aplicações, tão variadas como a reparação de televisores, a análise do funcionamento das unidades electrónicas de controlo dos automóveis, a análise de vibrações (de um motor, por exemplo), o projecto de circuitos de condicionamento de sinal (para sistemas de instrumentação, por exemplo) ou sistemas biomédicos.

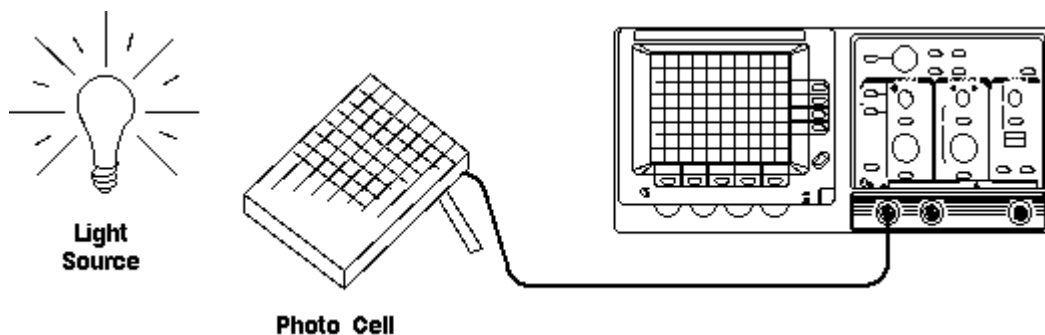



Figura 3: Medição de luminosidade por intermédio de um transdutor (célula fotoeléctrica) ([Tektronics, 1997a])

A utilidade do osciloscópio não se limita ao mundo da electricidade/electrónica. Com o transdutor apropriado, o osciloscópio poderá utilizar-se para visualizar e medir qualquer tipo de grandeza física. Um transdutor é um dispositivo que cria um sinal eléctrico a partir de um estímulo de outro tipo de grandeza, tal como som, luz ou calor (caso da célula fotoeléctrica apresentada na Figura 3).

Embora os osciloscópios digitais permitam analisar sinais transitórios (que só acontecem um vez), tal como os apresentados na Figura 4 (degrau (*step*) e impulso (*pulse*)), o osciloscópio é, por princípio, um instrumento de medição adequado a medir (analisar) sinais periódicos.

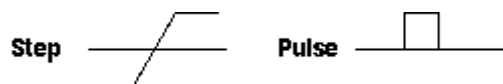



Figura 4: Sinais não periódicos (degrau e impulso) ([Tektronics, 1997a])

Os sinais periódicos, também denominados de ondas, representam a variação de grandezas que se repetem (periodicamente) no tempo. São exemplos típicos as ondas sinusoidais (*sine wave*) e sinusoidais amortecidas (*damped sine wave*),

Figura 5: Ondas sinusoidal e sinusoidal amortecida ([Tektronics, 1997a])

as ondas quadradas (*square wave*) e rectangulares (*rectangular wave*):

Figura 6: Ondas quadrada e rectangular

e as ondas triangulares (*triangle wave*) e de dente de serra (*sawtooth wave*):

Figura 7: Ondas dente de serra e triangular ([Tektronics, 1997a])

Quanto à proveniência destes tipos de ondas, os exemplos da Figura 8 são elucidativos. Podem ver-se a forma sinusoidal da tensão disponível numa tomada de energia, os impulsos (digitais) que circulam no interior de um computador, os sinais eléctricos do sistema eléctrico de um automóvel (do sistema de ignição, por exemplo) e a onda em dente de serra utilizada para fazer o varrimento horizontal num televisor.

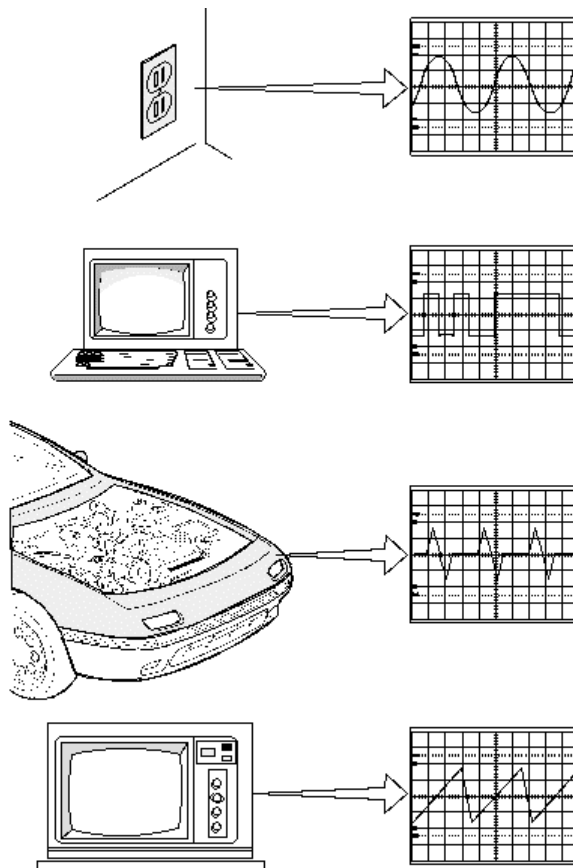



Figura 8: Fontes de sinais ([Tektronics, 1997a])

1.2. Grandezas Eléctricas Mensuráveis

A nível das grandezas (eléctricas) que podem ser medidas através de um osciloscópio, as mais comuns são as seguintes:

Período e Frequência

Se um sinal se repete no tempo, ele tem uma frequência de repetição. Esta frequência (f) é medida em Hertz (Hz) e é igual ao número de vezes que o sinal se repete por segundo (número de ciclos por segundo). Analogamente, um sinal periódico tem um período (T), que é o tempo que o sinal leva a completar um ciclo.

O período e a frequência são inversos um do outro, isto é, f = 1/ T. A Figura 9 serve como exemplo, onde a onda sinusoidal tem um período de 1/3 de segundo, correspondendo a uma frequência de 3 Hz.

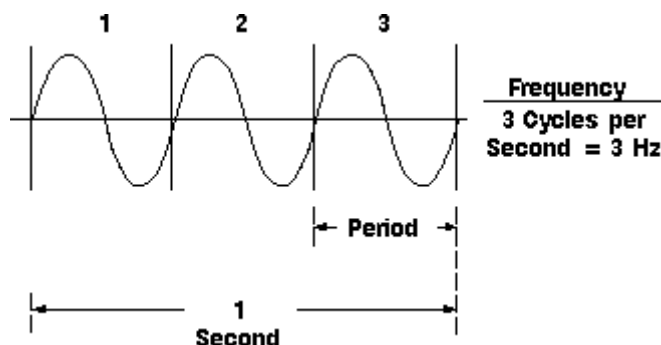



Figura 9: Período e frequência ([Tektronics, 1997a])

Amplitude (de tensão)

Com um osciloscópio podem medir-se amplitudes de sinais, nomeadamente amplitudes de pico e pico-a-pico. A forma de onda apresentada na Figura 10 tem uma amplitude (de pico) de 1 V e uma amplitude pico-a-pico de 2 V.

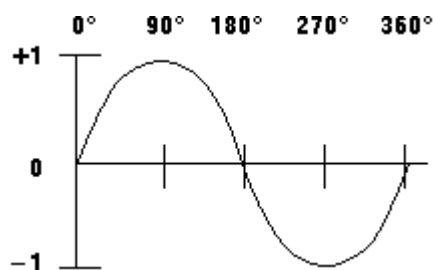



Figura 10: Fase de uma onda sinusoidal ([Tektronics, 1997a])

Desfasamento

Para entender o que é o desfasamento entre duas ondas, é necessário apreender o conceito de fase. É importante salientar que este conceito apenas se aplica a ondas sinusoidais. Olhando para a Figura 10 pode considerar-se que como o sinal é sinusoidal, a cada instante de tempo pode corresponder um ângulo (de 0° a 360°). Isto facilita a analise de ondas sinusoidais, no sentido em que o ângulo de fase não depende da frequência do sinal. Podemos então referir-nos a ângulos de fase para descrever em que parte do período é que o sinal se encontra (20°, 60°, 180°, por exemplo), em vez de nos referirmos a tempo (1,35 ms ou 4,2 s, por exemplo).

O desfasamento (ou diferença de fase) representa o atraso (no tempo ou em fase) entre dois sinais da mesma frequência. Na Figura 11, a tensão diz-se 90º em avanço relativamente à corrente, dado que a onda de tensão chega ao seu máximo (por exemplo) exactamente 1/4 de período antes do máximo da onda da corrente (360º / 4 = 90º).

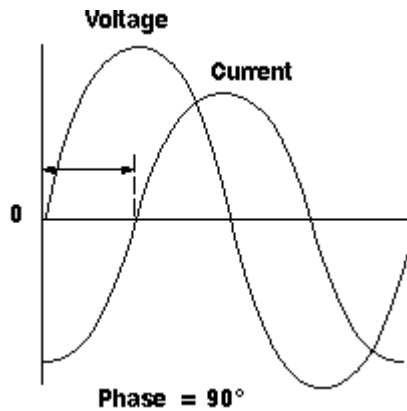



Figura 11: Desfasamento entre duas ondas ([Tektronics, 1997a])

O desfasamento é extremamente importante na análise de certos circuitos eléctricos e electrónicos.

2. OSCILOSCÓPIO ANALÓGICO VS. DIGITAL

Os equipamentos electrónicos podem ser divididos em analógicos ou digitais. Enquanto que o equipamento analógico trabalha com tensões continuamente variáveis, o equipamento digital apenas distingue dois níveis diferentes de tensão (dois níveis lógicos, 0 e 1) que podem ser combinados sequencialmente (010010...) de modo a representarem o valor de uma amostra de sinal (2, 4, 8, 16 *bits* cada amostra). Por exemplo, um gira-discos é um aparelho analógico enquanto que um leitor de discos compactos é um aparelho digital.

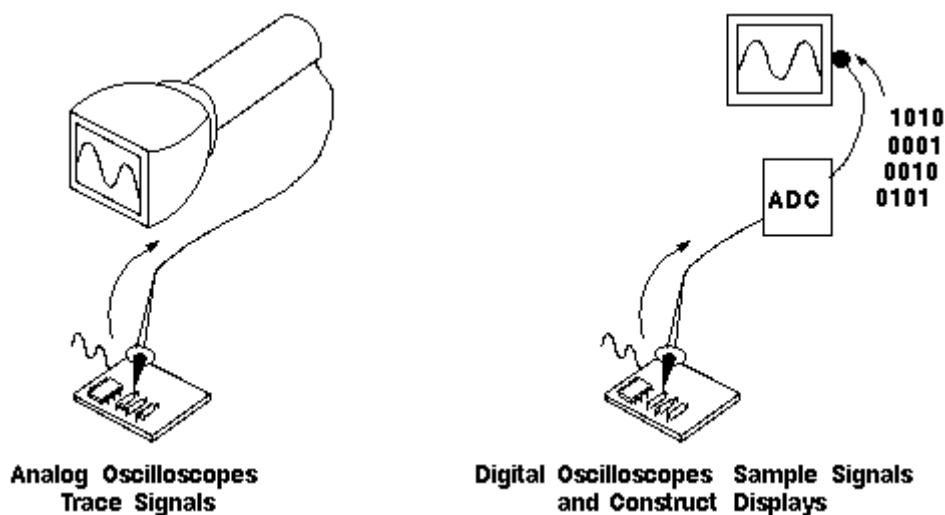



Figura 12: Visualização Osciloscópios analógicos e digitais ([Tektronics, 1997a])

Os osciloscópios também podem ser analógicos ou digitais. Os osciloscópios analógicos funcionam aplicando (quase) directamente a tensão medida a duas placas (placas horizontais) que criam um campo eléctrico, provocando o desvio (vertical, dado que as placas são horizontais) de um feixe de electrões que se desloca para o écran. Isto permite observar o valor da amplitude do sinal no eixo vertical (Figuras 12 e 16).

Os osciloscópios digitais retiram amostras do sinal original (Figuras 12 e 20), amostras estas que são convertidas para um formato digital (binário) através da utilização de um conversor analógico/digital. Esta informação digital é armazenada numa memória e seguidamente reconstruída e representada no écran (tal como num computador).

Em muitas aplicações, pode utilizar-se tanto um osciloscópio analógico como um digital. Contudo, cada um deles possui características particulares, tornando-os mais ou menos adequados para uma dada tarefa.

Os osciloscópios analógicos eram normalmente preferidos quando era necessário visualizar sinais com variações muito rápidas (altas frequências) em tempo-real (ao mesmo tempo que ocorrem). O desenvolvimento dos osciloscópios digitais fez com que os osciloscópios analógicos tivessem vindo a ser ultrapassados.

Os osciloscópios digitais permitem o armazenamento e posterior visualização das formas de onda, nomeadamente de acontecimentos que ocorrem apenas uma vez. Eles permitem ainda processar a informação digital do sinal ou enviar esses dados para um computador para serem processados e/ou armazenados. Como processamento entende-se por

exemplo uma filtragem do sinal ou uma análise espectral do sinal (no domínio das frequências).

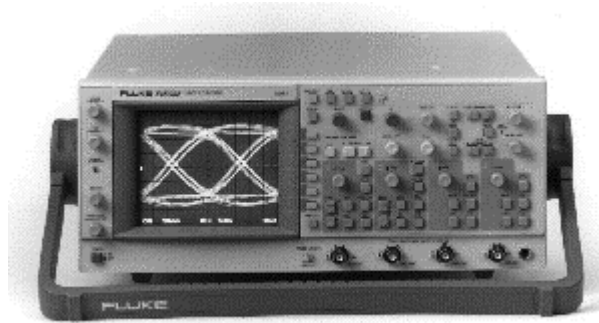



Figura 13: Exemplo de um osciloscópio analógico ([Fluke, 1997c])

É um facto que o osciloscópio analógico (Figura 13) está a ficar obsoleto. De facto, começam a aparecer no mercado osciloscópios digitais (Figura 14) com muito mais funcionalidades que os analógicos, por preços cada vez mais competitivos. Mais ainda, a utilização de *software*, tanto pelo fabricante, como pelo utilizador, permite "personalizar" os osciloscópios digitais, munindo-os de funções específicas para cada aplicação.

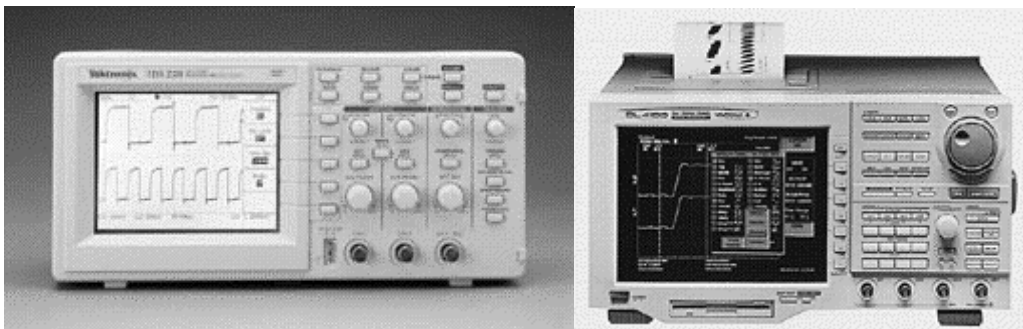



Figura 14: Exemplos de osciloscópios digitais ([Tektronics, 1997f] e [Yokogawa, 1997])

A empresa Fluke têm também a marca registada do *Combiscope* ([Fluke, 1997d]), um aparelho que combina as funcionalidades de um osciloscópio analógico com um digital.

Um instrumento de medição que começa a estar vulgarizado é o *scopemeter*. Este instrumento, do qual não vejo qualquer tradução para português "minimamente feliz", integra as funcionalidades de um osciloscópio digital com as funcionalidades de um multímetro digital, num formato portátil. São exemplos o *Fluke 123 Scopemeter* (Figura 15) e o *Fluke'98 Scopemeter* ([Fluke, 1997e]), este último dedicado a teste/diagnóstico automóvel .

Figura 15: Exemplo de um scopemeter ([Fluke, 1997f])

O aparelho representado na Figura 15 pesa apenas 1,1 Kg e custa, nos EUA, 1000 dólares (cerca de 170 contos).

Para se poderem compreender melhor os comandos do osciloscópio, é necessário conhecer um pouco melhor o princípio de funcionamento destes aparelhos. Tal como foi referido atrás, os osciloscópios analógicos funcionam de maneira diferente dos digitais. Contudo, alguns dos blocos internos são idênticos. Os osciloscópios analógicos envolvem conceitos mais simples, sendo explicados antes dos digitais.

2.1. Princípio de Funcionamento do Osciloscópio Analógico

Quando se liga uma ponta de prova de um osciloscópio a um circuito, o sinal de tensão adquirido é introduzido no "sistema vertical" do osciloscópio. A Figura 16 mostra um diagrama de blocos básico, traduzindo o modo como um osciloscópio analógico desenha um sinal medido:

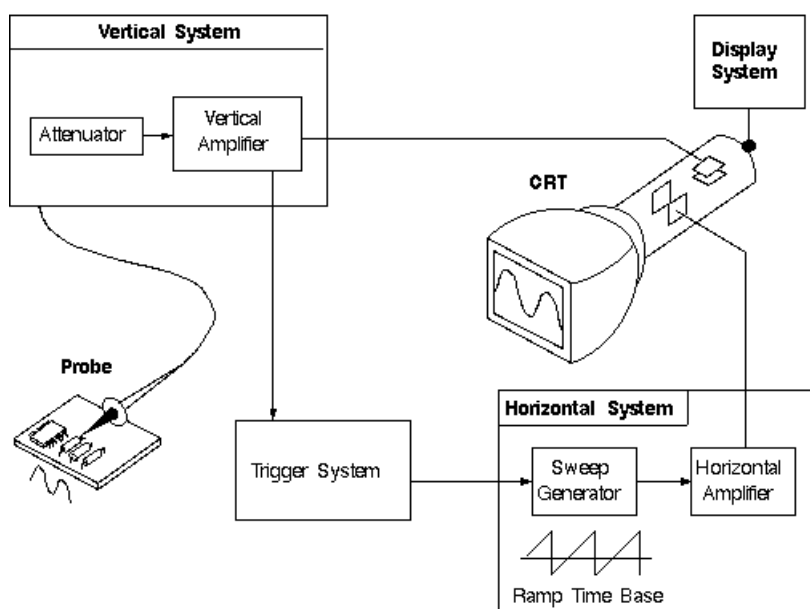



Figura 16: Diagrama de blocos de um osciloscópio analógico ([Tektronics, 1997a])

Dependendo de como se ajusta a escala vertical (controlo de 'Volts/Div'), um atenuador reduz a amplitude do sinal ou um amplificador aumenta essa amplitude.

Seguidamente, o sinal é aplicado às placas horizontais (ou de deflexão vertical) do tubo de raios catódicos (CRT - *Cathode Ray Tube*).

Nota: O CRT tem este nome pois existe um cátodo que emite um feixe de electrões a alta velocidade em direcção ao écran. Este último é constituído por pequenos elementos de fósforo (pixels - picture elements) que, quando atingidos por electrões, geram dois fenómenos: fluorescência e fosforescência. A fluorescência é a característica que o fósforo tem de se iluminar, quando atingido por electrões a alta velocidade. A fosforescência é a sua capacidade de manter essa luminosidade durante um certo tempo.

O campo eléctrico criado pelas duas placas horizontais provoca a deflexão do feixe de electrões para cima ou para baixo, consoante a tensão a estas aplicada. Se a placa de baixo for ligada à massa, uma tensão positiva aplicada à outra placa leva a uma deflexão para cima. Uma tensão negativa faz o feixe deflectir-se para baixo.

Obviamente que, se apenas existissem as duas placas horizontais, apenas era possível deslocar o feixe de electrões para cima e para baixo. Ora, para visualizarmos um sinal no domínio dos tempos, é necessário como que "estendê-lo" no écran, progressivamente e proporcionalmente ao tempo. Isto é conseguido à custa de mais duas placas deflectoras, mas estas verticais, de modo a permitir o desvio do feixe para a esquerda e para a direita (ou da esquerda para a direita, no caso de uma visualização de um sinal no tempo).

Obviamente que, para deslocar o feixe de electrões da esquerda para a direita de modo a simular o tempo, é necessário aplicar uma tensão em forma de **rampa** (Figura 17), que

aumente progressivamente de 0 (que corresponda a ter o feixe no extremo esquerdo do écran) até um valor X de tensão (feixe no extremo direito do écran).

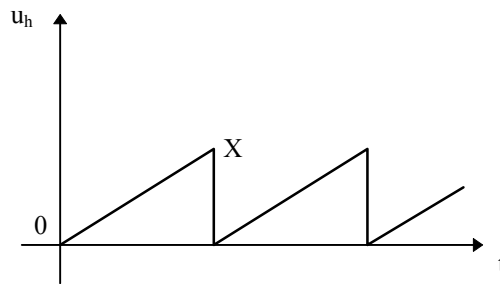



Figura 17: Tensão em forma de rampa ou dente de serra

A maior ou menor inclinação desta rampa vai influenciar um menor ou maior tempo de "varrimento", respectivamente. Entende-se **varrimento** (*sweep*) como a acção de deslocamento do feixe da esquerda para a direita do écran. Tempo de varrimento é portanto o tempo que o feixe demora a deslocar-se do extremo esquerdo até ao extremo direito do écran. O sistema que permite simular o tempo designa-se normalmente de **base de tempo**.

Dado que a fosforescência do fósforo tem uma duração temporal curta, não basta desenhar uma vez o sinal, isto é, não basta fazer um varrimento apenas, pois os nossos olhos deixariam de visualizar qualquer sinal passado pouco tempo (décimos de segundo). Este facto impediria a análise dos sinais, tornando o osciloscópio num instrumento sem qualquer interesse (a menos que se fotografe o écran, técnica que tem vindo a desaparecer, dada a cada vez maior utilização dos osciloscópios digitais). O que se faz para evitar este fenómeno é repetir o desenho do sinal com varrimentos consecutivos. Por isso o sinal em forma de rampa se repete ao longo do tempo, resultando numa forma de onda denominada de dente de serra (Figura 17).

Obviamente que, e está a falar-se apenas dos osciloscópios analógicos, se os sinais a serem visualizados não forem periódicos, não é possível repetir a mesma imagem, não se conseguindo uma visualização estabilizada do sinal. Mais ainda, mesmo para um sinal periódico, é necessário que, em cada varrimento, o feixe de electrões percorra exactamente o mesmo trajecto no écran, de modo a que se obtenha uma imagem estabilizada no écran.

Tendo como auxílio a Figura 18, é fácil de perceber que, se o sinal em forma de rampa gerado pela base de tempo não tiver um período (exactamente) múltiplo do período do sinal (caso de u_{v1} e u_{v2}), o sinal vai ser desenhado em sítios diferentes, para cada varrimento (caso de u_{v3}). Isto implica uma visualização não estabilizada do sinal.

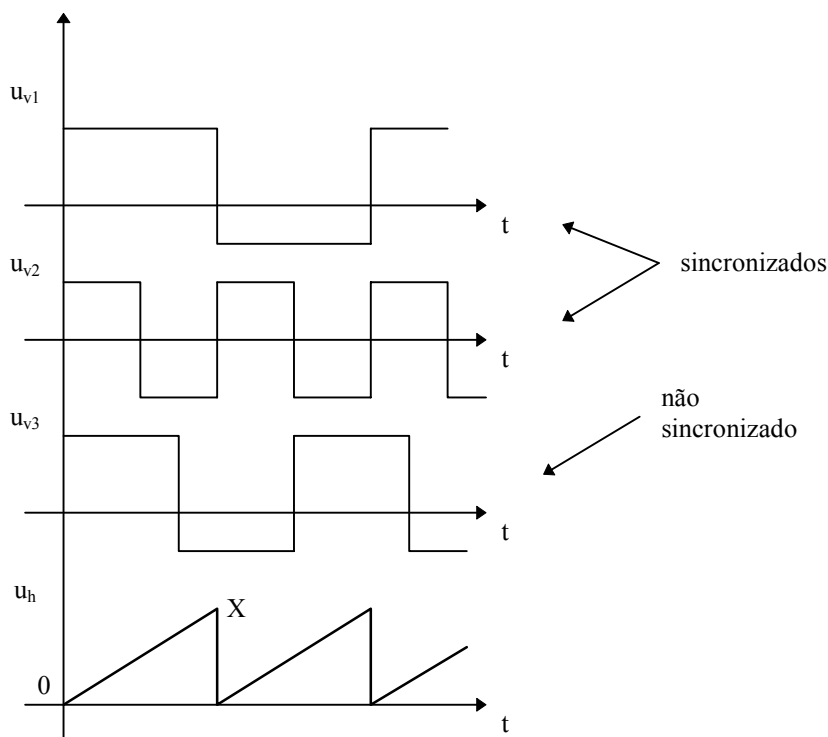



Figura 18: Sinais sincronizados e não sincronizados

Repare-se que u_{v1} tem um período duplo do sinal da base de tempo (u_h), u_{v2} tem um período igual ao sinal da base de tempo e u_{v3} tem um período de 3/2 do sinal da base de tempo.

Por esta razão, é necessário existir um sistema que faça com que os sinais de entrada sejam desenhados sempre nos mesmos pontos do écran. No fundo, pretende-se um sistema que controle o início do sinal em forma de rampa que é aplicado às placas verticais. Este sistema é normalmente designado como o **sistema de sincronismo** ou sistema de disparo (*trigger*). Este circuito recebe o sinal do sistema vertical (Figura 16), e faz disparar o início da rampa nos tempos adequados.

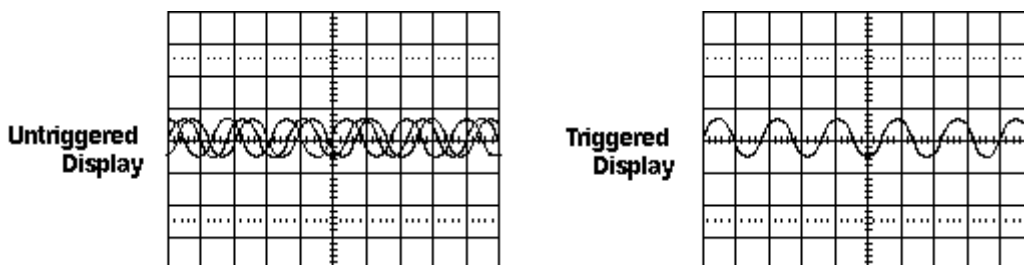



Figura 19: Sinais sincronizado e não sincronizado ([Tektronics, 1997a])

A Figura 19 mostra duas situações na visualização de um sinal: sistema de sincronismo a funcionar bem (*triggered display*) e sistema de sincronismo a funcionar mal (*untriggered display*). O sistema de sincronismo vai ser abordado detalhadamente mais à frente.

Em conclusão, para utilizar um osciloscópio analógico na visualização de um sinal, é necessário proceder a três acções de comando:

- O ajuste da atenuação/amplificação do sinal. O comando de Volt/Div permite ajustar a amplitude do sinal aplicado às placas horizontais (de deflexão vertical), dependendo da amplitude do sinal original.
- O ajuste da velocidade de varrimento. O comando Sec/Div permite ajustar o tempo por divisão representado horizontalmente no écran, dependendo da frequência do sinal original.
- O ajuste do nível e inclinação de disparo (*trigger*) da base de tempo. Os comandos do sistema de sincronismo permitem a estabilização de um sinal periódico ou a visualização de uma única transição (sinais transitórios).

Adicionalmente, o ajuste dos comandos de focagem e intensidade (eixo dos ZZ) permite a obtenção de uma imagem nítida e com a visibilidade pretendida.

2.2. Princípio de Funcionamento do Osciloscópio Digital

Alguns dos blocos que compõem um osciloscópio digital são os mesmos que nos osciloscópios analógicos. Contudo, os osciloscópios digitais contêm sistemas adicionais para processamento de dados (Figura 20). Com estes sistemas adicionais, os osciloscópios digitais adquirem os dados referentes a um sinal antes de o desenharem no écran.

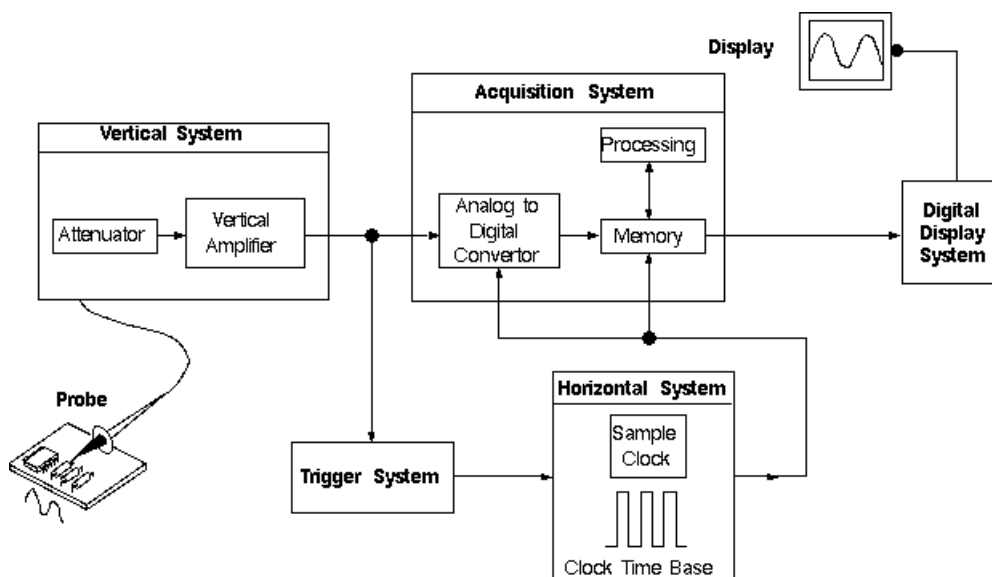



Figura 20: Diagrama de blocos de um osciloscópio digital ([Tektronics, 1997a])

Tal como num osciloscópio analógico, quando se liga um osciloscópio digital a um dado circuito, o sistema vertical permite ajustar a amplitude da forma de onda.

Seguidamente, um conversor analógico/digital (*Analog to Digital Converter*, na Figura 20) amostra o sinal (com uma determinada frequência de amostragem) e converte o valor de tensão de cada amostra para um formato digital. O sistema horizontal possui um relógio (*sample clock*) que determina a frequência com que o conversor analógico/digital adquire e converte uma amostra do sinal - a frequência de amostragem.

As amostras são armazenadas em memória como pontos constituintes da forma de onda do sinal. Uma **amostra** é constituída por vários dígitos binários (*bits - binary digits*) e poderá ter um comprimento de, por exemplo, oito *bits* (correspondendo a $2^8 = 256$ níveis diferentes de tensão). O conjunto de amostras que representa uma forma de onda denomina-se de **registo**. O sistema de sincronismo determina o início e fim deste registo, definindo um número de amostras denominado de **comprimento do registo**. Depois deste registo ser armazenado em memória, é enviado para o écran.

Um ponto da forma de onda pode ser constituído por mais do que uma amostra. O conjunto de pontos da forma de onda forma um registo de forma de onda. O número de pontos da forma de onda utilizados para fazer um registo de forma de onda é chamado o comprimento do registo. O sistema de sincronismo determina o início e fim deste registo. Depois deste registo ser armazenado em memória, é enviado para o écran.

Dependendo das capacidades do osciloscópio, poderá haver processamento adicional das amostras, levando a um melhoramento da imagem obtida no écran. O pré-disparo (*pretrigger*) poderá também estar disponível, permitindo a visualização de eventos antes do ponto de disparo.

Tal como nos osciloscópios analógicos, para efectuar uma medição é necessário ajustar adequadamente o sistema vertical, o sistema horizontal e o sistema de sincronismo.

2.3. Métodos de Amostragem (nos Osciloscópios Digitais)

O método de amostragem define como é que um osciloscópio digital faz a aquisição das amostras. Para sinais de variação lenta (de baixa frequência), não há dificuldade por parte do osciloscópio em adquirir a quantidade de amostras suficiente para construir uma imagem de qualidade. Contudo, para sinais de variação rápida (de alta frequência) e dependendo da frequência de amostragem máxima de cada osciloscópio em particular, o osciloscópio poderá não adquirir o número suficiente de amostras. Podem então distinguir-se os seguintes métodos de amostragem:

- **Amostragem em tempo-real** (*real-time sampling*).
  - O osciloscópio adquire algumas amostras num único ciclo de aquisição e depois poderá utilizar interpolação para melhor construir a imagem. A interpolação é uma técnica de processamento que permite estimar a forma de onda baseado em alguns pontos apenas (por aproximação polinomial).
- **Amostragem em tempo-equivalente** (*equivalent-time sampling*).
  - O osciloscópio adquire amostras em vários ciclos de aquisição, construindo uma imagem do sinal ao longo do tempo (há medida que o sinal se vai repetindo).

Amostragem em Tempo-Real (com ou sem Interpolação)

Por defeito, os osciloscópios digitais utilizam a amostragem em tempo-real. Neste modo de amostragem, o osciloscópio adquire a maior quantidade possível de amostras à medida que o sinal é recebido (Figura 21). Para sinais transitórios (respostas de sistemas a impulsos ou degraus, por exemplo), é obrigatório este modo de amostragem.

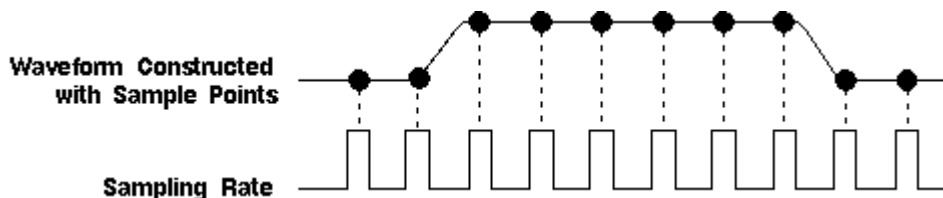



Figura 21: Amostragem em tempo-real ([Tektronics, 1997a])

Para sinais demasiado rápidos, osciloscópio só consegue adquirir algumas amostras em cada ciclo de aquisição, sendo necessário utilizar a interpolação para "interligar" o valor dessas amostras (Figura 21 e 22).

Pode ver-se na Figura 22 a diferença entre uma forma de onda visualizada sem interpolação e com interpolação.

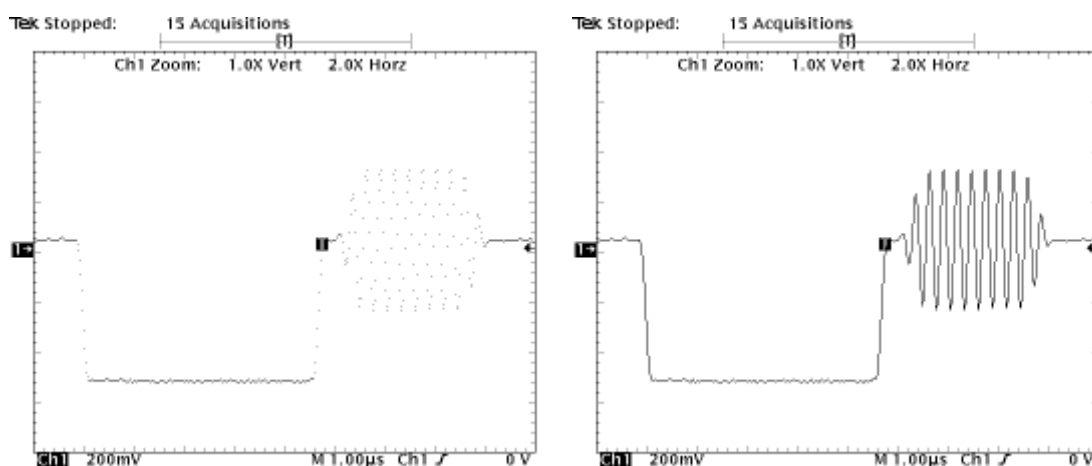



Figura 22: Visualização sem interpolação e com interpolação ([Tektronics, 1997d])

A forma de interpolação mais simples e menos pesada computacionalmente é a interpolação linear. Esta simplesmente interliga os pontos através de linhas rectas. Este método funciona bem com impulsos e sinais digitais, mas pode levar a distorção em sinais sinusoidais.

Nota: A interpolação linear é um caso particular de interpolação polinomial. Obviamente que, ao aumentar o grau do polinómio, vai aumentar também o trabalho computacional para o cálculo dos pontos intermédios.

A interpolação sinusoidal interliga os pontos de amostragem através de curvas (partes de sinusóides). Sendo ideal para a visualização de sinais sinusoidais, este método poderá produzir sobreamortecimento (*overshoot*) ou subamortecimento (*undershoot*) quando visualizamos impulsos. Este processo é equivalente ao utilizado nos leitores de discos compactos. A Figura 23 dá um exemplo da aplicação destes dois tipos de interpolação.

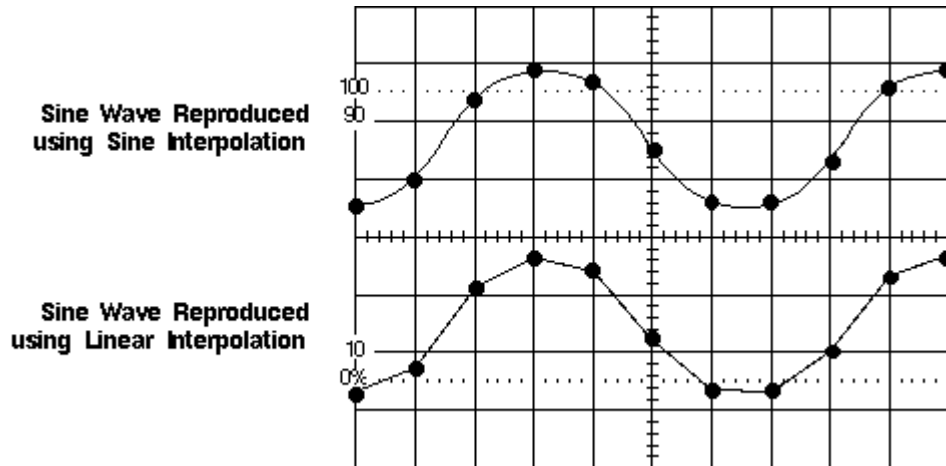



Figura 23: Interpolações linear e sinusoidal ([Tektronics, 1997a])

Com a interpolação sinusoidal, são calculados os pontos de modo a preencher o tempo entre as amostras reais. Utilizando este processo, um sinal que é amostrado apenas algumas vezes num ciclo de aquisição pode ser representado com qualidade (desenhado com qualidade no caso do osciloscópio ou tocado/ouvido com qualidade no caso do leitor de discos compactos).

Para melhorar a visualização de sinais com transições rápidas, há osciloscópios que oferecem um outro tipo de interpolação, normalmente denominada de 'sin(x)/x'. A Figura 24 exemplifica a diferença entre a visualização de um sinal utilizando interpolação linear e 'sin(x)/x'.

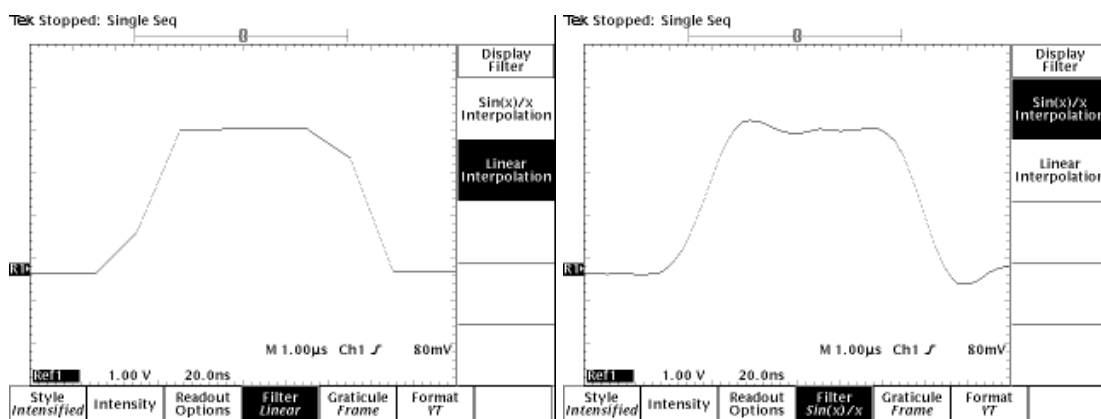



Figura 24: Interpolação linear vs. interpolação 'sin(x)/x' ([Tektronics, 1997d])

Deve ter-se em conta que este último tipo de interpolação acarreta maior tempo de processamento.

Amostragem em Tempo-Equivalente

Alguns osciloscópio oferecem a possibilidade de utilizar a amostragem em tempo-equivalente, no caso de se estarem a medir sinais com variações extremamente rápidas (sinais de alta frequência). Este modo de amostragem constrói uma imagem de um sinal repetitivo capturando uma parcela da sua informação em cada ciclo de aquisição (Figura 25).

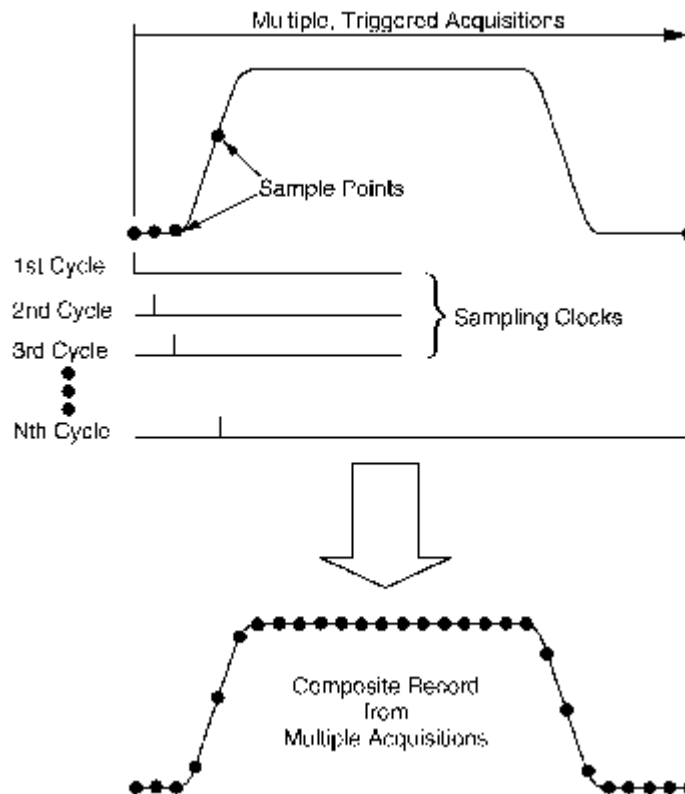



Figura 25:Amostragem em tempo-equivalente ([Tektronics, 1997c])

Como se pode observar, em cada ciclo de aquisição é guardada alguma informação sobre o sinal. Ao fim de alguns ciclos de aquisição (quatro, no caso da figura), o sinal pode ser completamente (re)construído e desenhado. O sinal é portanto construído "aos poucos".

2.4. Características Relevantes

É importante ter conhecimento das características de um osciloscópio que mais influenciam na sua aquisição. A escolha de cada uma das características deve tomar em conta a utilização (as necessidades das aplicações que pretendemos) e a relação custo/benefício. Estas são:

Largura de Banda (*BandWidth*)

A especificação da largura de banda diz-nos qual a frequência máxima dos sinais que pretendemos analisar. A largura de banda poderá variar desde a ordem dos 20 a 30 Mhz (osciloscópios de baixa gama, a custar menos de 100 contos) até 1 Ghz (osciloscópios de alta gama, que poderão custar milhares de contos).

À medida que a frequência dos sinais aumenta, diminui a capacidade de resposta do osciloscópio. Por convenção, a largura de banda é a frequência em que a amplitude do sinal desenhado é reduzida para 70.7% da amplitude do sinal (sinusoidal) de entrada. Esta redução de 70.7% equivale a -3 dB, na escala logarítmica.

Além de vir especificada no manual do aparelho e por ser uma característica muito importante, a largura de banda vem normalmente escrita no painel frontal do osciloscópio (no caso do osciloscópio da Figura 2, 20 MHz).

Número de Canais

O número de canais de entrada define, obviamente, o número de formas de onda que podem ser visualizadas ao mesmo tempo no écran de um osciloscópio. A maior parte dos osciloscópios dispõe de dois canais de entrada, como é o caso dos osciloscópios utilizados nas aulas de laboratório ([Hitachi, 1990]).

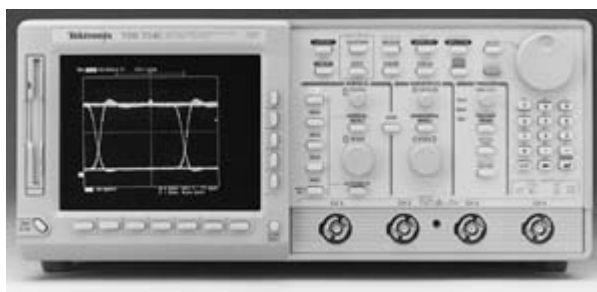



Figura 26: Osciloscópio digital de quatro canais ([Tektronics, 1997e])

Existem no entanto alguns osciloscópios digitais que dispõem de quatro canais de entrada. A Figura 26 é um exemplo de um osciloscópio com quatro canais (as melhores marcas de osciloscópios disponibilizam modelos com quatro canais), o que permite, em determinadas situações, analisar mais facilmente um dado sistema.

Tempo de Subida (*Rise Time*)

O tempo de subida é um outro modo de descrever a frequência útil de utilização de um osciloscópio. O valor desta grandeza é uma medida mais adequada de performance quando a utilização se refere à medição de impulsos e degraus. Um osciloscópio não consegue desenhar correctamente impulsos com tempos de subida inferiores ao tempo de subida (mínimo) especificado no manual do osciloscópio (no caso do osciloscópio da Figura 2, 17.5 ηs).

Sensibilidade Vertical (*Vertical Sensivity*)

A sensibilidade vertical caracteriza o poder de amplificação do amplificador vertical. Esta grandeza é normalmente expressa em mV/Div. A tensão mais pequena que um osciloscópio comum pode detectar é, tipicamente, 2 mV/Div. Além de vir especificada no manual do aparelho, esta característica vem escrita no comando de amplificação vertical. No caso do osciloscópio da Figura 2, a sensibilidade é de 1 mV/Div (5 mV/Div com amplificação de 5 vezes).

Velocidade de Varrimento (*Sweep Speed*)

Para os osciloscópios analógicos, este parâmetro especifica quão rápido é que o traço se desloca da esquerda para a direita do écran, permitindo (ou não) a visualização de detalhes. A maior velocidade de varrimento de um osciloscópio é normalmente expressa em ηs/Div (no caso do osciloscópio da Figura 2, 200 ηs /Div).

Exactidão do Sistema Vertical (*Gain or Vertical Accuracy*)

O valor desta grandeza indica a exactidão do sistema vertical (ou dos sistemas verticais, no caso de osciloscópio de dois canais) quando se efectuam medições de tensão. É normalmente expresso em termos percentuais (no caso do osciloscópio da Figura 2, ±3%), definindo uma incerteza relativa.

Exactidão do Sistema Horizontal (*Time Base or Horizontal Accuracy*)

O valor desta grandeza indica a exactidão do sistema horizontal (ou dos sistemas verticais, no caso de osciloscópio de dois canais) quando se efectuam medições de tempo. É também expresso como uma incerteza relativa, em percentagem (no caso do osciloscópio da Figura 2, ±3%).

Frequência de Amostragem (*Sample Rate*)

Nos osciloscópios digitais, a frequência de amostragem indica quantas amostras são adquiridas por segundo. A frequência de amostragem máxima de um osciloscópio é normalmente expressa em Mega amostras por segundo (MS/s). Quanto maior a frequência máxima de amostragem de um osciloscópio, maior a exactidão com que ele representa os detalhes de um sinal com variações rápidas. A frequência mínima de amostragem poderá também ser relevante na medição de sinais com variações muito lentas, durante longos períodos de tempo. Tipicamente, a frequência de amostragem muda quando se altera o comando de Sec/Div, de modo a manter um número constante de pontos no registo do sinal.

Resolução Vertical ou do Conversor Analógico/Digital (*ADC or Vertical Resolution*)

Este parâmetro dos osciloscópios digitais representa a resolução, em *bits*, do conversor A/D (e portanto do próprio osciloscópio digital), definindo a qualidade com que os sinais (analógicos) são convertidos para valores digitais. O valor desta grandeza influencia a exactidão na medição de tensão. Podem ser utilizadas técnicas de cálculo para melhorar a resolução efectiva.

Comprimento do Registo (*Record Length*)

O comprimento do registo de um osciloscópio digital indica quantos pontos do sinal são armazenados pelo osciloscópio para uma dada imagem. Alguns osciloscópios permitem ajustar o comprimento do registo. O comprimento máximo do registo depende da memória do osciloscópio. Dado que o osciloscópio apenas consegue armazenar um número finito de pontos, tem de haver um compromisso entre detalhe e comprimento do registo. Podem, por exemplo, escolher-se mais amostras durante um pequeno período de tempo (a memória enche-se rapidamente) ou menos amostras durante mais tempo.

Alguns osciloscópios permitem a evolução da memória de modo a aumentar o comprimento do registo, em aplicações em que isso se mostre necessário.

3. Interligação entre o Osciloscópio e os Circuitos

Para uma utilização adequada dos instrumentos de medição, mais particularmente do osciloscópio, é fundamental que se tenha uma noção do que é a massa de um aparelho e do que é a ligação da massa à terra. Esta noção é abordada neste capítulo.

É também imprescindível ter um conhecimento básico de como se faz a interligação entre o instrumento de medição e os circuitos a testar. Esta interligação faz-se através dos vários tipos de pontas de prova, que também são brevemente apresentados neste capítulo.

3.1. Conceito de Massa e Terra

Entende-se **massa** de um aparelho como qualquer elemento metálico susceptível de ser tocado. Esta está em regra isolada dos condutores activos (fase/neutro, positivo/negativo), mas pode ficar acidentalmente em tensão.

A **terra** representa a massa condutora da terra, cujo potencial eléctrico é, em qualquer ponto, convencionalmente, igual a zero.

São também importantes as seguintes considerações:

- A massa do osciloscópio é portanto a carcaça ou parte da carcaça do aparelho que é normalmente ligada a um terceiro terminal na ficha de alimentação de corrente alternada (fase, neutro e massa).
- Se a tomada de alimentação tiver ligação de terra, a massa do osciloscópio fica ligada à terra.
- Uma ponta de prova tem uma ligação de sinal (*retractable hook tip*, na Figura 30) e uma ligação de massa (*alligator clip ground lead*, na Figura 30).

Porquê Ligar da Massa do Osciloscópio à Terra?

Na maior parte das aplicações, a massa do osciloscópio deve ser ligada à terra, como medida de segurança. Se a massa de um osciloscópio não estiver ligada à terra e qualquer elemento dessa massa ficar acidentalmente em tensão, o utilizador poderá sofrer um choque eléctrico. Por outro lado, se a massa estiver ligada à terra, a corrente é veiculada directamente para a terra, em vez de percorrer o corpo do utilizador (até à terra). Mais ainda, se a instalação eléctrica a que o osciloscópio está ligado dispuser de um relê diferencial, qualquer contacto acidental à massa provoca o disparo deste dispositivo (e consequentemente a abertura do circuito), protegendo os utilizadores de possíveis choques.

Porquê Não Ligar a Massa do Osciloscópio à Terra?

Dado que tensão eléctrica significa diferença de potencial entre dois pontos de um circuito eléctrico, para efectuar uma medição de tensão, é necessário que o osciloscópio tenha "acesso" a dois potenciais eléctricos. Um dos potenciais é obtido pelo terminal de sinal da ponta de prova (*retractable hook tip*, na Figura 30). O outro é obtido através do terminal de massa da ponta de prova (*alligator clip ground lead*, na Figura 30).

Devem ter-se em conta, no entanto, um caso em que **a massa do osciloscópio não deve estar ligada à terra**. Isto acontece quando queremos efectuar **a medição de uma diferença de potencial entre dois pontos de um circuito em que nenhum deles é a massa**.

De facto, nos casos em que a massa do circuito a testar está ligada à terra, se utilizarmos um osciloscópio cuja massa está também ligada à terra, não podemos ligar a massa do osciloscópio a outro ponto do circuito que não a sua massa, sob perigo de estarmos a efectuar um curto-circuito. Nestas situações, deve isolar-se a massa do osciloscópio da terra (ou a massa do circuito da terra), de modo a que a sua massa fique com um potencial flutuante. Deste modo, com uma das duas massas (ou do osciloscópio ou do circuito) isolada da terra já podemos ligar o terminal de massa da ponta de prova.

Porquê Ligarmo-nos à Terra?

No caso de se estar a trabalhar com circuitos integrados ou circuitos impressos, é também conveniente ligarmos o nosso corpo à terra. Os circuitos electrónicos atrás referidos têm caminhos de condução extremamente estreitos e sensíveis que podem ser danificados por electricidade estática ou simplesmente por andar ao longo de uma carpete ou tirar uma camisola e tocar no circuito em questão.

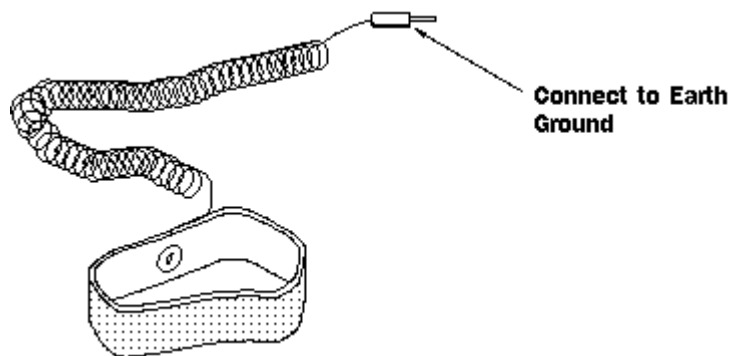



Figura 27: Punho de ligação à terra ([Tektronics, 1997a])

Para resolver o problema atrás referido, é comum utilizar um punho de ligação à terra que descarrega a electricidade estática para a terra (Figura 27).

No Caso dos Circuitos Impressos...

No caso de estarmos a analisar sinais com variações rápidas (impulsos, degraus ou sinais de frequências elevadas), em circuitos impressos, devemos colocar o terminal de massa da ponta de prova o mais próximo possível do ponto a medir (Figura).

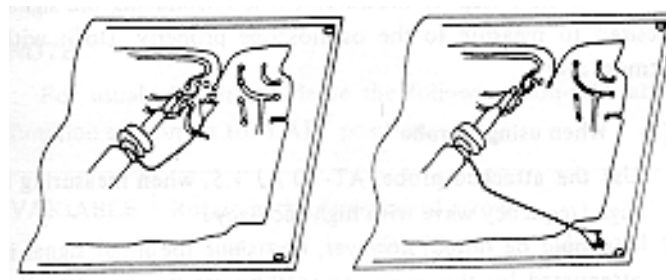



Figura 28: Um bom (esquerda) e um mau (direita) exemplo da ligação da massa ([Hitachi, 1990])

Quanto maior for o comprimento do fio (pista) condutor de massa, maior a distorção da forma de onda visualizada.

3.2. Pontas de Prova

A ponta de prova (*probe*, em Inglês) é um elemento fundamental na medição de sinais com o osciloscópio. É importante perceber que uma ponta de prova de um osciloscópio não é apenas um cabo com uma ponta especial. Na verdade, uma ponta de prova é um conector de alta qualidade, cuidadosamente projectado e concebido para um dado osciloscópio e aplicação. Uma ponta de prova também deve rejeitar ruído electromagnético, tanto de alta frequência como da rede eléctrica (50 Hz), opostamente às características de uma antena.

Uma ponta de prova (conjuntamente com o osciloscópio) não deverá influenciar o comportamento do circuito sob medição. Contudo, nenhum instrumento de medição se pode comportar como um observador invisível. Esta interferência (indesejável) do conjunto osciloscópio e ponta de prova nos circuitos é chamada **efeito de carga** (conceito equivalente a outros instrumentos de medição). Para minimizar o efeito de carga, devem ser utilizadas pontas de prova atenuadoras (10 X, normalmente) e também proceder-se à compensação das pontas de prova, antes do processo de medição.

Tipos de Pontas de Prova

A maior parte dos osciloscópios trazem como acessório, por defeito, duas pontas de prova **passivas** (de tensão). Estas são adequadas a aplicações genéricas de teste e diagnóstico. Para medições mais específicas existem outros tipos de pontas de prova, nomeadamente as pontas de provas **activas** (de tensão) e de **corrente**.

Foi feita em [Tektronics, 1997b] uma estruturação dos vários tipos de pontas de prova existentes na actualidade, apresentada na figura seguinte:

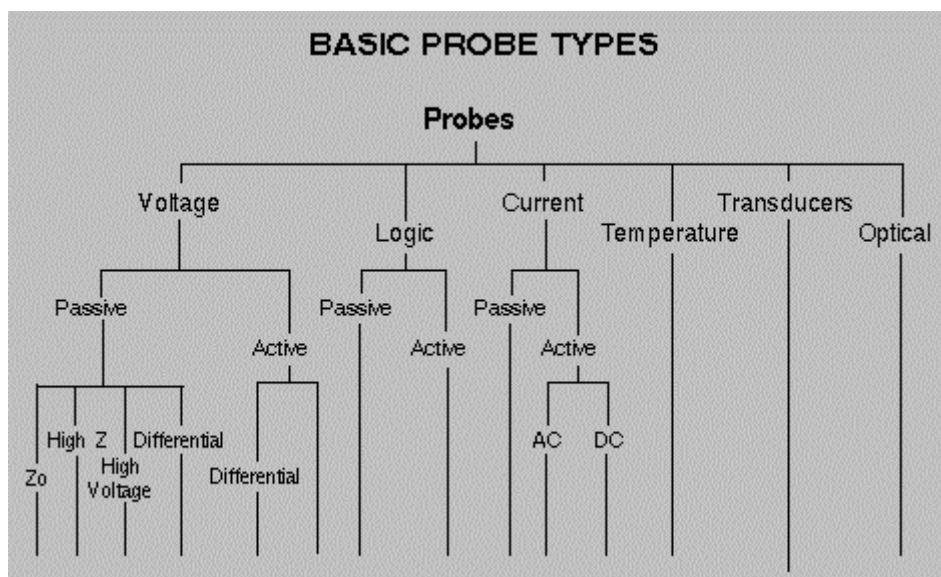



Figura 29: Tipos de pontas de prova ([Tektronics, 1997b])

É a seguir feita uma descrição dos tipos de pontas de prova mais comuns, dando maior ênfase às pontas de prova passivas de tensão, dado que, sendo as mais versáteis e económicas, são portanto as mais utilizadas.

Pontas de Prova Passivas (de tensão)

A maior parte das pontas de prova passivas (Figura 30)têm um factor de atenuação, isto é, atenuam o sinal de entrada de 10X (lê-se dez vezes) ou 100X. Por convenção, os factores de atenuação têm o X depois do factor (tal como as pontas atenuadoras de 10X). Opostamente, factores de amplificação têm o X primeiro, tal como o caso dos comandos de amplificação vertical de X5 (14 e 15 na Figura 2).

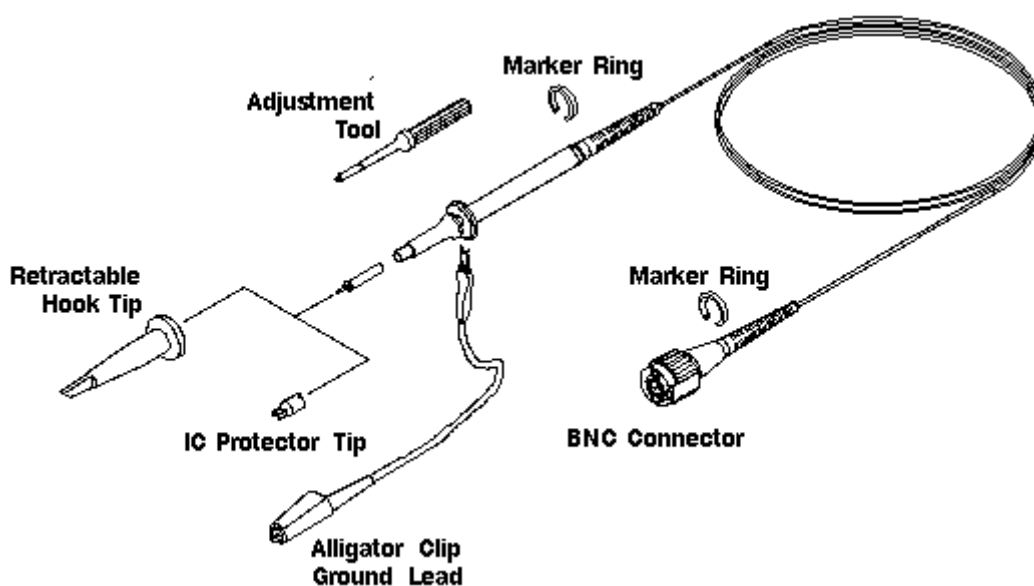



Figura 30: Ponta de prova passiva e seus acessórios ([Tektronics, 1997a])

A ponta de prova que normalmente vem como acessório de um osciloscópio é a atenuadora de 10X. Esta é muito versátil pois serve para um grande número de aplicações e reduz o efeito de carga nos circuitos. Dado que este efeito se torna mais pronunciado quanto maior for a frequência dos sinais a analisar, aconselha-se a utilização destas pontas de prova para frequências superiores a 5 Khz. Embora estas pontas contribuam para uma maior exactidão nas medições, os sinais são atenuados de 10X, o que para sinais de amplitude muito pequena (< 10 mV) pode ser indesejável.

Algumas pontas de prova vêm com um comutador que permite escolher entre dois valores de atenuação, normalmente 10X e 1X. É fundamental confirmar a posição deste comutador antes de efectuar qualquer medição, de modo a não cometer erros grosseiros. Alguns osciloscópios detectam ou permitem definir a atenuação da ponta de prova, ajustando automaticamente as medições no seu écran (não é o caso dos osciloscópios mais baratos, tais como os utilizados nas aulas de laboratório).

Quando a atenuação é de 100X ou 1000X, diz-se que a ponta de prova é de **alta tensão**.

Pontas de Prova Activas (de tensão)

As pontas de prova activas fornecem a sua própria amplificação do sinal antes de o aplicar ao osciloscópio. Este tipo de pontas de prova pode ajudar a reduzir o efeito de

carga (maior impedância de entrada), sem introduzir atenuação, ou pode permitir o aumento do comprimento do cabo (coaxial) entre o terminal (gancho) da ponta e o osciloscópio (dado que a amplificação o permite). No caso de se usarem pontas de prova activas, é necessário dispor de uma fonte de alimentação adequada.

Pontas de Prova de Corrente

As pontas de prova de corrente permitem observar e medir directamente formas de onda de correntes. Estas estão disponíveis para a medição tanto de correntes contínuas como de correntes alternadas. Estas pontas funcionam de modo análogo às pinças amperimétricas (Figura 31), isto é, têm um dispositivo que abraça o condutor onde se quer medir a corrente. Dado que nada é inserido no circuito (nem em série, nem em paralelo), as pontas de corrente têm um efeito de carga praticamente nulo.

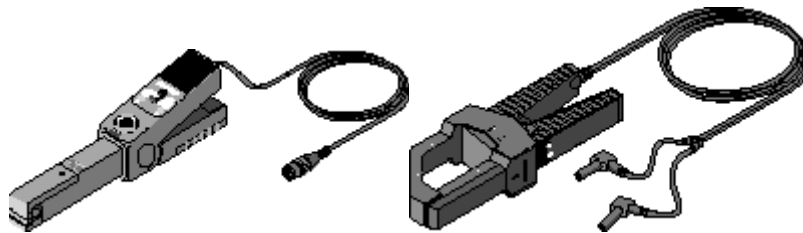



Figura 31: Pontas de prova de corrente ([Fluke, 1997a])

Quanto ao princípio de funcionamento, as **pontas de corrente passivas** ("tradicionais") são as pontas que apenas medem corrente alternada. Estas utilizam um transformador que transforma a variação do campo electromagnético gerado pela corrente no condutor numa f.e.m, que é transmitida ao sistema vertical do osciloscópio. A gama de frequências habitual vai desde as centenas de Hertz até aos Giga Hertz.

Existem no entanto pontas de prova que medem desde correntes contínuas até frequências de 50 Mhz. Estas, as **pontas de corrente activas** (as da Figura 31 são pontas de corrente activas), baseiam o seu funcionamento na conjugação de um dispositivo de *Efeito Hall* com um transformador. O *Efeito Hall* é explicado em '7.1. Princípio do *Efeito Hall*'.

3.3. Compensação do Circuito de Atenuação (ou da Ponta de Prova)

Antes de utilizar uma ponta de prova atenuadora temos de a "adaptar" às características do osciloscópio a que a estamos a ligar. Isto faz-se ajustando o valor de um condensador na ponta de prova (*Probe Compensation Adjustment*, na Figura 32 ou na Figura 34) de modo a que o conjunto osciloscópio e ponta de prova provoquem o menor efeito de carga nos circuitos a que vão estar ligados. Chama-se a este processo a compensação do circuito atenuador (ou compensação da ponta de prova).

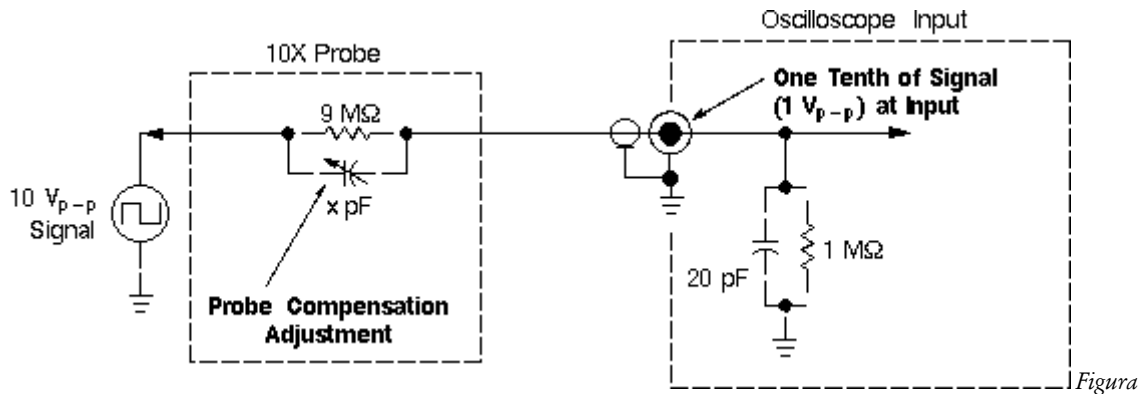



Figura 32:Esquema eléctrico de ponta 10X e osciloscópio ([Tektronics, 1997a])

Deve adquirir-se o hábito de proceder à compensação da ponta de prova sempre que iniciamos um conjunto de medições com o osciloscópio. Se não o fizermos, os sinais visualizados poderão não corresponder aos sinais reais no circuito, tal como se pode ver na Figura 33.

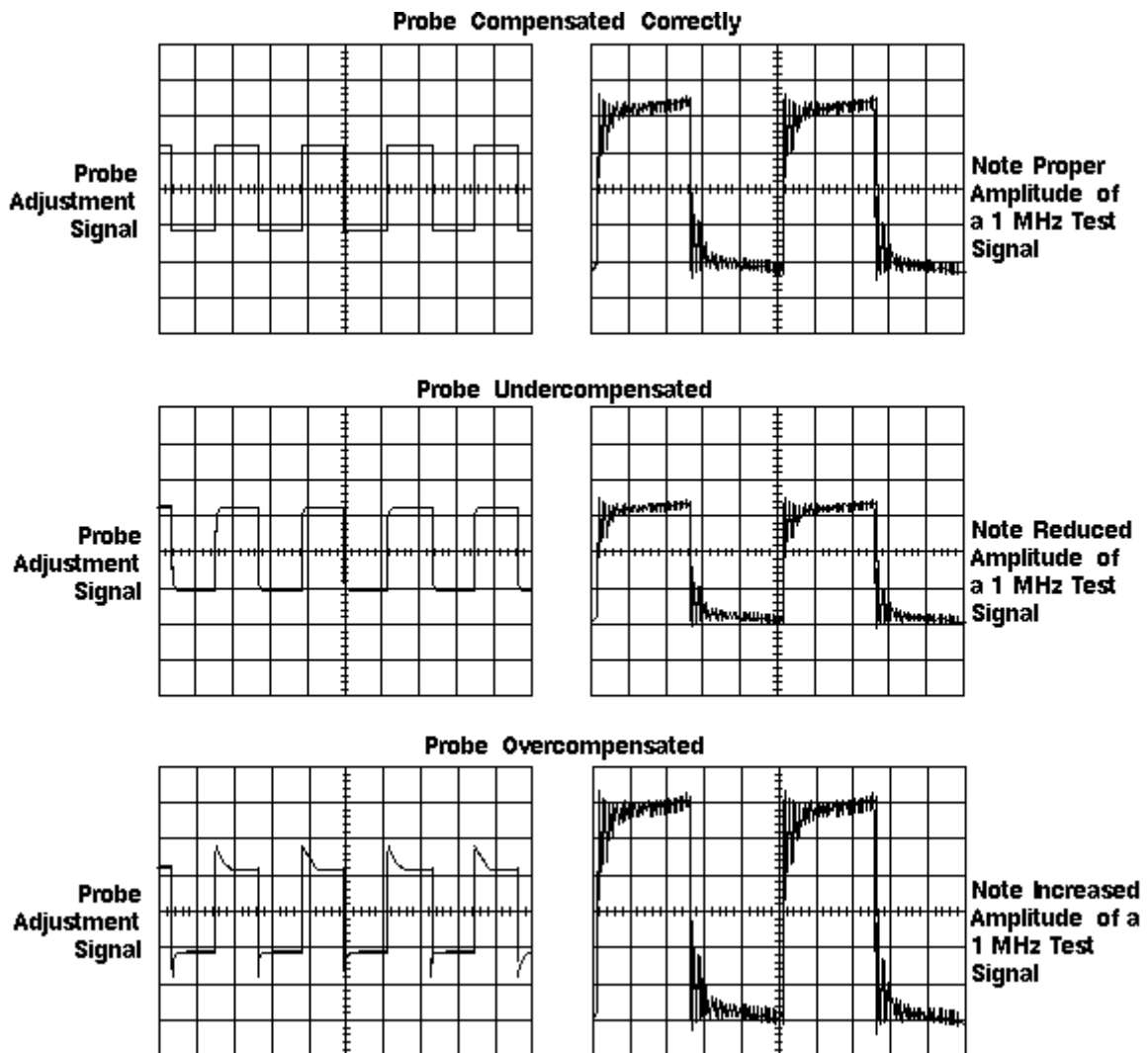



Figura 33: Efeitos da boa ou má compensação de uma ponta de prova (1) ([Tektronics, 1997a])

Como se pode ver na Figura 32, no caso de um osciloscópio não podemos falar apenas de uma resistência interna. Devemos ter em conta uma capacidade ligada em paralelo com uma resistência, falando-se portanto de uma **impedância interna**. Esta impedância deve ser o mais elevada possível, sendo valores típicos de 1 MΩ para a resistência e de 10 a 80 ρF para a capacidade.

Dado que a impedância interna do osciloscópio não muda e que pretendemos ter sempre o mesmo factor de atenuação, independentemente do valor da frequência, teremos de recorrer a uma ponta de prova do tipo RC, isto é, uma resistência em paralelo com um condensador variável (Figura 32). A variação da capacidade deste condensador permite fazer a compensação do circuito de atenuação, tal como vamos ver a seguir.

Se considerarmos R_{pp} e C_{pp} como a resistência e a capacidade da ponta de prova, R_o e C_o como a resistência e a capacidade do osciloscópio e U_i e U_o, respectivamente a tensão de entrada e a tensão no osciloscópio, pode provar-se ([Campilho, 1986]) que se:

$$R_{pp}.C_{pp} = R_o.C_o$$

Então

$$U_o / U_i = R_o / (R_{pp} + R_o)$$

Ou seja, a atenuação obtida é constante e independente da frequência do sinal de entrada. No caso do osciloscópio ter uma resistência interna de 1 MΩ, para obtermos uma atenuação de 10X, teremos de ter a ponta de prova com uma resistência de 9 MΩ, tal como podemos ver a seguir:

$$U_o / U_i = R_o / (R_{pp} + R_o) \wedge R_o = 1\ M\Omega \wedge R_{pp} = 9\ M\Omega \Rightarrow$$

$$U_o / U_i = 1 / (1 + 9) = 1 / 10$$

A maior parte dos osciloscópios dispõem de um sinal de referência na forma de onda quadrada, que está disponível no painel frontal do aparelho (terminal 31 do osciloscópio da Figura 2). A sequência de operações para compensar o circuito de atenuação é a seguinte:

1. Ligar a ponta de prova ao conector de entrada do canal (1 ou 2)

Ligar o terminal da ponta de prova ao sinal de referência (ponto 31, no osciloscópio da Figura 2). Não é necessário ligar a massa da ponta de prova à massa, pois isso já está feito internamente.

2. Analisar o sinal visualizado.
3. Ajustar a capacidade do condensador variável da ponta de prova (Figura 34), por intermédio de uma chave de fendas, de modo a que os cantos da onda quadrada formem ângulos rectos.

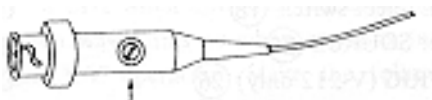



Figura 34: Condensador variável para compensação de uma ponta de prova ([Hitachi, 1990])

Na Figura 35 pode ver-se, da esquerda para a direita, o resultado de uma compensação correcta, de uma subcompensação (capacidade demasiado pequena) e de uma sobrecompensação (capacidade demasiado grande).

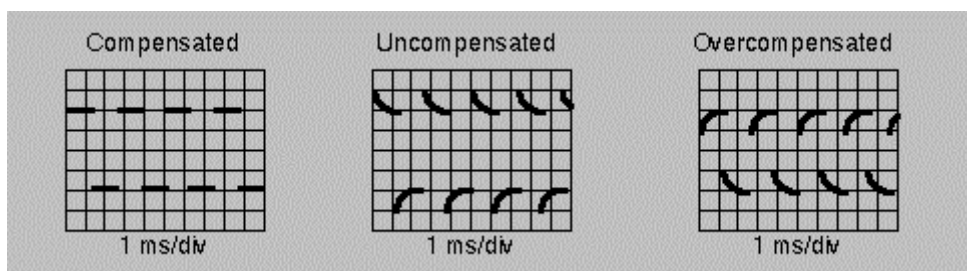



Figura 35: Efeitos da boa ou má compensação de uma ponta de prova (2) ([Tektronics, 1997b])

4. Descrição dos Comandos

Esta secção descreve os comandos mais vulgarmente encontrados dos osciloscópios analógicos e digitais. É necessário ter em conta que alguns comandos diferem dos osciloscópios analógicos para os digitais.

4.1. Comandos do Écran (eixo dos ZZ)

Embora os comandos do écran variem dos osciloscópios analógicos para os digitais, alguns deles são comuns, nomeadamente:

Comando de Intensidade (*Intensity*)

Este comando permite ajustar a intensidade (brilho) do traço (comando 5, no osciloscópio da Figura 2). É natural que à medida que se aumenta a velocidade de varrimento, haja necessidade de aumentar a intensidade do traço (maior velocidade implica menor persistência do feixe).

Comando de Focagem (*Focus*)

O comando de focagem (comando 3, no osciloscópio da Figura 2) permite obter um traço fino, permitindo uma maior exactidão nas medições (de tensão e temporais). Os osciloscópios digitais poderão não dispor deste comando.

Comando de Rotação do Traço (*Trace Rotation*)

O comando de rotação do traço (comando 4, no osciloscópio da Figura 2) serve para alinhar o traço com o eixo horizontal do écran. A variação do campo magnético terrestre pode influenciar o alinhamento do traço. Os osciloscópios digitais poderão não dispor deste comando.

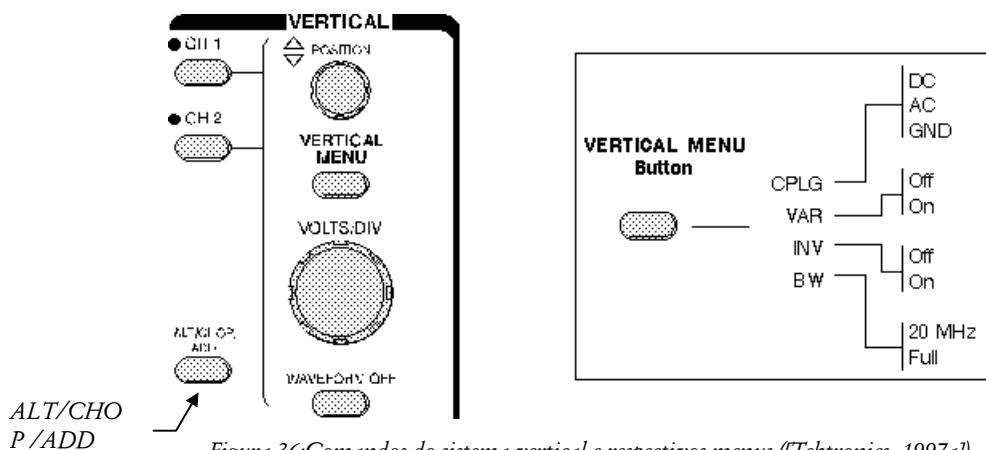
Outros Comandos

Outros comandos poderão permitir o ajuste da intensidade da grelha (divisões) ou da intensidade luminosa do écran, ou ainda possibilitar o controlo de informação possível de visualizar no écran (menus, valores de amplificação vertical, base de tempo, acoplamento, período, valor de pico, etc.). Estes últimos comandos são mais comuns nos osciloscópios digitais, embora existam, de forma limitada, em alguns osciloscópios analógicos de custo mais elevado.

4.2. Comandos do Sistema Vertical (eixo dos YY)

Primariamente, os comandos do sistema vertical servem para ajustar a forma de onda verticalmente. Adicionalmente, existem ainda outros comandos para escolher o acoplamento do sinal ou outro tipo de condicionamento de sinal.

A Figura 36 mostra os comandos do sistema vertical do painel frontal típico de um osciloscópio digital, bem como os respectivos menus no próprio écran (*on-screen menus*).

Figura 36:Comandos do sistema vertical e respectivos menus ([Tektronics, 1997a])

Comando de Posição

O comando de posição vertical (*POSITION*, na Figura 36) permite deslocar a forma de onda para cima e para baixo, de modo a posicioná-la exactamente no sítio desejado do écran.

Um exemplo do interesse deste comando é a visualização de sinais com componente contínua, onde é útil compensar a existência desta componente com o posicionamento da forma de onda mais para cima (se a componente contínua for negativa), ou mais para baixo (se a componente contínua for positiva).

Outro exemplo da utilidade deste comando é quando pretendemos medir com maior exactidão amplitudes de tensão ou de tempo. Por exemplo, para melhor medir a tensão pico-a-pico de uma onda, podemos posicionar um dos picos em cima de uma divisão, e fazer a medição com maior facilidade, reduzindo o risco de cometer erros grosseiros.

Quando pretendemos visualizar dois sinais simultaneamente no écran, é também forçoso ajustar o posicionamento vertical de ambos os canais, de modo que não haja sobreposição das formas de onda (ou de modo a que haja sobreposição, se assim o necessitarmos).

Comando de Amplificação Vertical

O comando de amplificação vertical (*VOLTS/DIV*, na Figura 36, ou 12 e 13 na Figura 2) controla um factor de escala. Por exemplo, se escolhermos a amplificação de 5 Volt/Div, então cada uma das oito divisões verticais representa 5 Volt e na totalidade do écran podemos ter 40 Volt. Se a escolha é de 0.5 Volt/Div, o écran pode mostrar 4 Volt de baixo até cima e assim consecutivamente. O valor máximo de tensão que se pode visualizar no écran é igual ao maior valor de Volt/Div a multiplicar pelo número de divisões verticais (normalmente oito).

Nota: Não esquecer de tomar em conta a atenuação da ponta de prova, se existir.

É comum haver um outro comando para o ajuste contínuo do ganho (escolhendo *VAR ON* e ajustando em *VOLTS/DIV*, na Figura 36, ou 14 e 15 na Figura 2). Este comando é

utilizado na medição do tempo de subida (*rise time*) de impulsos ou ondas quadradas, processo que é explicado mais à frente.

Comando de Acoplamento de Entrada

Como acoplamento entende-se o método utilizado para ligar um sinal eléctrico entre dois circuitos. Neste caso particular, o acoplamento de entrada é método de ligação entre o circuito sob teste e o osciloscópio. O acoplamento pode ser:

- DC (*Direct Current*)

  O sinal é mostrado como existe na realidade (não é alterado)

- AC (*Alternated Current*)

  É retirada a componente contínua ao sinal, através de um condensador colocado em série (o sinal aparece "centrado" em zero Volt, isto é, com igual área positiva e negativa).

- GND (Ground)

  O sinal de entrada é desligado do sistema vertical, ligando-se ao invés a massa do osciloscópio. Desta forma é possível colocar o traço (horizontal) na posição (vertical) que se deseja.

No osciloscópio da Figura 36, podemos ver as três opções no submenu de CPLG (*Coupling*). No caso do osciloscópio utilizado nas aulas de laboratório (Figura 2), utilizam-se os comandos 10 e 11.

A Figura 37 exemplifica a diferença entre a escolha de acoplamento DC e AC, para o caso de um sinal sinusoidal de 1 V de tensão pico-a-pico e 2 V de componente contínua.

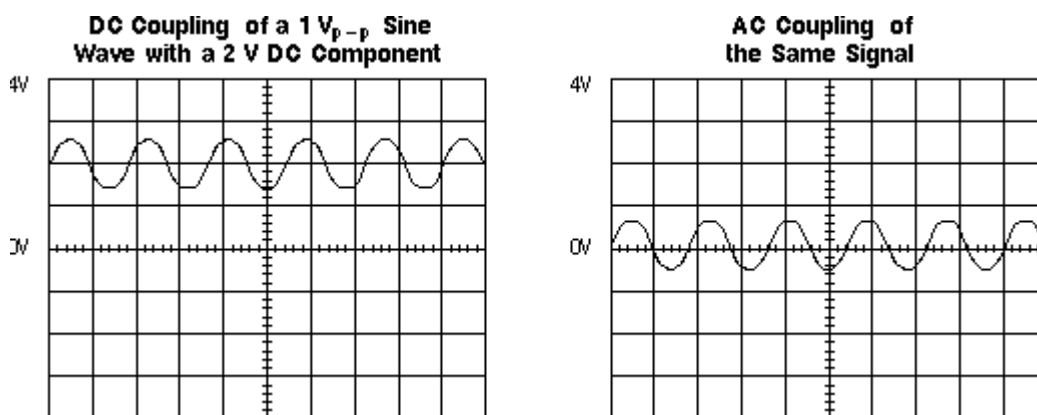



Figura 37:Acoplamento de entrada DC e AC ([Tektronics, 1997a])

É até possível "sentir" a carga do condensador no acoplamento AC da seguinte forma. Se tivermos um sinal de entrada do tipo do da Figura 37 e se passarmos de acoplamento DC para AC, verificamos que é possível visualizar a forma de onda a descer, até se centrar em torno do eixo horizontal. Isto deve-se ao facto de o condensador ser de alguma capacidade, demorando portanto um certo tempo (meio segundo é um valor normal) a carregar-se totalmente (com a componente contínua do sinal).

Comando de Limite de Largura de Banda

Um grande número de osciloscópios têm um circuito que permite limitar a sua largura de banda. Através deste processo, é possível reduzir ruído (de alta frequência) que por vezes aparece na forma de onda visualizada, possibilitando um sinal com melhor definição. O osciloscópio da Figura 37 tem essa funcionalidade no submenu BW, em que se pode escolher a largura de banda limitada (a 20 Mhz) ou ilimitada (largura de banda do próprio osciloscópio).

Comando de Inversão do Sinal

A maior parte dos osciloscópios têm uma função que permite a inversão do sinal de entrada, isto é, permite desenhar o sinal "de pernas para o ar", como se costuma dizer na gíria. Esta funcionalidade tem interesse, por exemplo, quando fazemos análise a dois canais e somos obrigados a adquirir o inverso de um dos sinais, por imposição do ponto de massa ser comum. Nesse caso, é necessário "voltar" a inverter o sinal invertido para que ele adquira a sua forma original. Este tema vai ser desenvolvido na análise a dois canais, mais à frente.

No osciloscópio da Figura 37, é possível inverter um canal escolhendo ON no submenu INV. No osciloscópio da Figura 2, puxa-se o botão 17 (só se pode inverter o canal 2).

Este comando também é útil quando se pretende subtrair dois sinais. Neste caso, adiciona-se um sinal com o inverso do segundo.

Comando de Modo de Visualização (Alternado ou Fatiado)

São frequentes as situações em que necessitamos de visualizar dois sinais simultaneamente (ou mais, se o osciloscópio o permitir), de modo a os podermos analisar e comparar entre si.

Será que vai haver dois feixes de electrões a fazer o varrimento do écran? Claro que não, pois as placas de deflexão horizontal e vertical iriam influenciar ambos os feixes, impossibilitando qualquer controlo dos sinais.

Qual então a solução? Tem de haver um mecanismo que "aldrabe" os nossos olhos, desenhando os dois sinais aos bocados, mas evitando que o utilizador se aperceba disso. Nos osciloscópios analógicos, a visualização simultânea de múltiplos canais é feita através de um de dois modos: **alternado** (*alternated*) ou **fatiado** (*chopped*). Nos osciloscópios digitais não faz sentido falar em modos de visualização, pois a imagem é desenhada a partir da memória. A Figura 38 mostra a diferença entre estes dois modos.

O modo **alternado** de visualização desenha cada sinal alternadamente, isto é, num varrimento desenha o canal 1 e no varrimento seguinte desenha o canal 2, e assim consecutivamente. Este é o melhor modo de visualização para sinais de média/alta frequência, isto é, quando a base de tempo está em 0.5 ms/Div ou mais rápida.

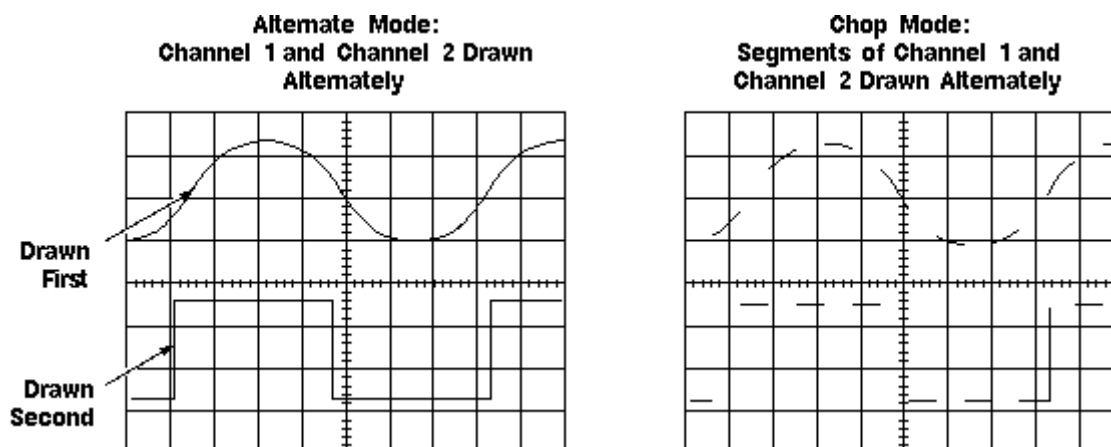



Figura 38:Modos de visualização alternado e fatiado ([Tektronics, 1997a])

Obviamente que, para sinais de variação mais lenta (50 Hz), os nossos olhos começam a aperceber-se duma cintilação nas formas de onda desenhadas. Se os sinais forem mesmo muito lentos (< 5 Hz), começa mesmo a detectar-se a sequência de varrimento do modo alternado, isto é, detecta-se que o osciloscópio desenha primeiro um sinal e depois outro. Este facto, acrescido de que a fosforescência do fósforo é limitada, torna este modo de visualização inadequado para sinais de baixa frequência. Justifica-se então a escolha do modo fatiado (*chopped*).

No modo **fatiado** (*chopped*), o osciloscópio desenha os dois canais aos bocadinhos, isto é, desenha um bocadinho do canal 1, um bocadinho do canal 2, um bocadinho do canal 1, etc. Claro que esta comutação entre os dois canais é feita suficientemente depressa (250 Khz é a frequência de comutação para o osciloscópio da Figura 2) para nós não notarmos, isto é, as formas de onda parecem completas.

O modo fatiado é utilizado quando analisamos sinais lentos que requerem tempos de varrimento na ordem de 1 ms por divisão (10 ms de tempo de varrimento, o que equivale a uma frequência de 100 Hz).

Obviamente que a Figura 38 mostra uma aplicação infeliz do modo fatiado, dado que os sinais visualizados têm uma frequência apenas (cerca de) oito vezes inferior à frequência de comutação do modo fatiado (repare-se que para um período de um sinal corresponde a cerca de oito períodos de comutação).

É muitas vezes útil visualizar os sinais em ambos os modos para poder escolher qual o melhor. No osciloscópio da Figura 2, o comando que permite escolher o modo de visualização é o 18. Para o da Figura 37, é o botão ALT/CHOP/ADD.

Comando de Adição de Sinais

Mesmo os osciloscópios analógicos mais baratos têm a possibilidade de adicionar (matematicamente) os dois canais. Enquanto que os osciloscópios analógicos somam os

sinais através de um amplificador operacional, os osciloscópios digitais fazem-no através da soma de valores binários (por microprocessador, ou outro processo digital).

Um exemplo da soma de dois canais pode ser visualizado na Figura 39.

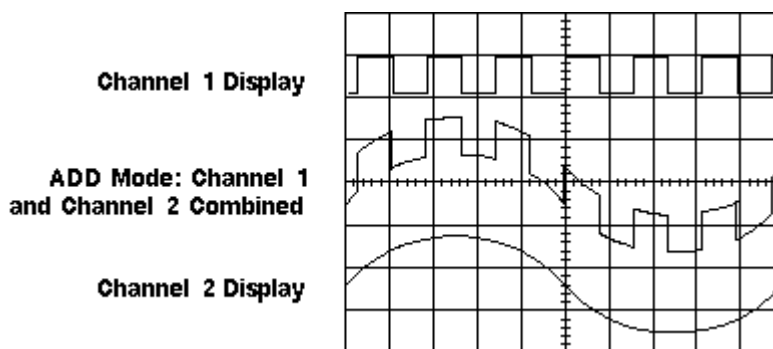



Figura 39:Soma de dois canais ([Tektronics, 1997a])

A subtracção de duas formas de onda é também possível somando um canal com o inverso do segundo, usando a função de inversão referida atrás. Esta funcionalidade tem interesse, por exemplo, se quisermos visualizar a componente contínua de um sinal (literalmente). Isto consegue-se ligando ambos os canais ao mesmo sinal, pondo o canal 1 em acoplamento DC, pondo o canal 2 em acoplamento AC e somando ambos os canais (tentar ver na Figura 37, para melhor compreensão).

4.3. Comandos do Sistema Horizontal (eixo dos XX)

Os comandos do sistema horizontal são utilizados para posicionar e escalar a forma de onda no eixo horizontal. A Figura 40 mostra a parte do painel frontal de um osciloscópio digital relacionada com os comandos do sistema horizontal, bem como os menus subjacentes.

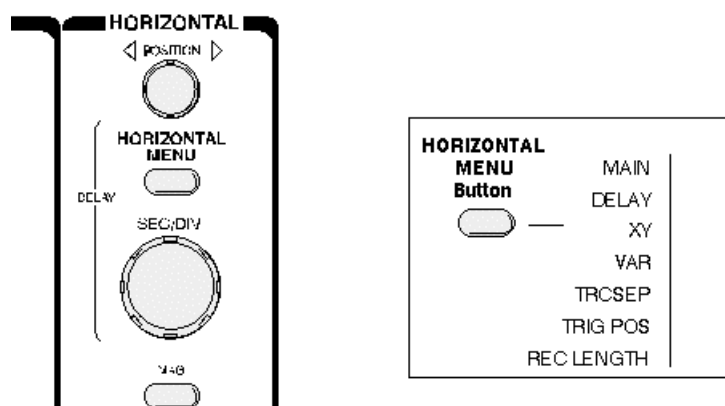



Figura 40: Comandos do sistema horizontal e respectivos menus ([Tektronics, 1997a])

Comando de Posicionamento

O comando de posicionamento (*POSITION*, tanto na Figura 40 como na Figura 2) horizontal permite deslocar a forma de onda para a esquerda ou para a direita.

Este procedimento é útil, por exemplo quando pretendemos efectuar a medição do período de um sinal. Neste caso, consegue medir-se mais facilmente o período do sinal se

o deslocarmos na horizontal, de modo a que um ponto de referência da forma de onda (passagem por zero, por exemplo) coincida com uma das divisões do osciloscópio.

Outro exemplo é quando pretendemos fazer "zoom" de uma parte do sinal. Esta "magnificação" temporal do sinal é conseguida através do comando *MAG* (explicado a seguir), que necessita que a parte a magnificar esteja centrada no écran. Obviamente que para centrar a forma de onda é necessário recorrer ao comando *POSITION*.

Comando de Magnificação (Zoom) Horizontal

Tal como se pode ver na Figura 41, este comando permite fazer uma magnificação (*zoom*) temporal da forma de onda. Esta funcionalidade pode ser útil quando queremos visualizar certa parte duma forma de onda com maior pormenor.

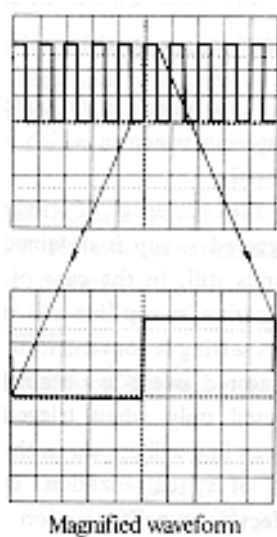



Figura 41: Comandos de magnificação horizontal ([Hitachi, 1990])

Tendo em conta que, normalmente, a magnificação é de 10 vezes e existem 10 divisões horizontais, implica que o que antes estava desenhado apenas numa divisão (horizontal) passa a estar desenhado em 10 divisões. A parte da forma de onda a ser magnificada deverá no centro (horizontal) do écran, com um intervalo de meia divisão para a esquerda e para a direita (Figura 41).

Note-se que o facto de haver uma magnificação temporal de 10 vezes significa que o varrimento é feito dez vezes mais devagar (aumenta 10 vezes o período da base de tempo).

No osciloscópio da Figura 2, o comando de magnificação (*X10 MAG*) está reunido com o comando de posicionamento (*POSITION*) no botão 24. No osciloscópio da Figura 40, é o botão *MAG*.

Comando de Velocidade de Varrimento

Este comando, também conhecido como ajuste da base de tempo, é normalmente denominado por *SEC/DIV* (segundos por divisão), tanto nos osciloscópios analógicos como digitais. O seu ajuste permite fazer variar a velocidade com que os sinais são desenhados. Sinais de maior frequência deverão ser desenhados depressa (valores

pequenos de SEC/DIV) enquanto que sinais de variação lenta devem ser desenhados mais devagar (maior número de segundos por divisão).

Por exemplo, se a escolha for de 1 ms, cada divisão horizontal representa 1 ms e o écran todo (10 divisões) representa 10 ms. No caso de estarmos a analisar a tensão da rede eléctrica nacional (50 Hz) e sendo o seu período de 20 ms, apenas veríamos metade do período. Para podermos visualizar um período completo do sinal, teríamos de tornar o varrimento mais lento, isto é, passar para 2 ms por divisão.

No osciloscópio da Figura 40, este comando é designado por *SEC/DIV*. No osciloscópio da Figura 2, ele é designado por *TIME/DIV* (comando 22).

Nos osciloscópios analógicos, tal como o da Figura 2, este comando permite ainda colocar o osciloscópio no modo XY, em que o desenho visualizado no écran é o sinal ligado ao canal 1 em função não do tempo, mas do sinal ligado ao canal 2. Uma aplicação deste modo de funcionamento é a medição de desfasamentos entre sinais e será explicada mais tarde, nas técnicas de medição.

Existe também um outro comando associado que permite variar a velocidade de varrimento de um modo contínuo (sem ser por saltos). Esta acção tem interesse quando queremos medir fase ou desfasamento, tal como é explicado em '5.6. Medição de Desfasamento'. É importante notar que esta opção não deve ser activada quando pretendemos efectuar medições de tempo, sob pena de cometer erros grosseiros.

No osciloscópio da Figura 40, este comando está acessível no menu, opção *VAR*. No osciloscópio da Figura 2, ele é designado por *SWP VAR* (comando 23) e deverá estar normalmente na posição calibrada (*CAL*), ou seja, ajuste contínuo desactivado.

Comandos para Base de Tempo Auxiliar

A maior parte dos osciloscópios, principalmente os analógicos, tem apenas uma Base de Tempo, isto é, gera apenas um sinal em forma de dente de serra. No entanto, existem já muitos osciloscópios que dispõem do que se chama uma base de tempo **auxiliar** ou **atrasada**.

Esta consiste num outro sinal de varrimento atrasado de um tempo predeterminado, isto é, começa um certo tempo depois da base de tempo "principal". A utilização de uma base de tempo atrasada permite uma visualização mais clara de certos eventos, ou pura e simplesmente visualizar eventos que não seria possível ver apenas com a base de tempo principal.

A base de tempo atrasada requer a definição de um tempo de atraso e, possivelmente, a utilização de um modo atrasado do sistema de sincronismo e de outras configurações que estão fora do âmbito desta disciplina. No caso de dispormos de um osciloscópio com funções específicas ou avançadas, é aconselhada a análise detalhada do seu manual de utilização.

Comandos para Posicionamento (Horizontal) do Disparo

O comando da posição horizontal de disparo (*trigger*) só está disponível nos osciloscópios digitais (*TRIG POS*, no osciloscópio da Figura 40), provavelmente localizado no bloco de comandos do sistema horizontal.

A sua função é poder variar a posição horizontal do disparo no registo da forma de onda. Variando a posição horizontal do disparo, é possível analisar as características do sinal antes de acontecer o instante de disparo. Este modo de visualização é denominado de **predisparo** (*pretrigger*).

A razão pela qual os osciloscópios digitais têm a possibilidade de fazer o predisparo é porque eles adquirem e processam continuamente o sinal de entrada, quer tenha acontecido um instante de disparo ou não. De facto é uma sequência contínua de dados que entra no osciloscópio; o sistema de sincronismo apenas diz ao osciloscópio para armazenar os dados actuais na memória. No caso dos osciloscópios analógicos, estes apenas desenham o sinal de entrada depois de se dar o instante de disparo.

O modo de visualização em predisparo pode ser extremamente útil no diagnóstico de certos problemas. Por exemplo, se um problema ocorre de forma intermitente, podemos fazer o disparo no instante onde acontece o problema e analisar o sinal "para trás", possivelmente descobrindo a causa do problema.

4.4. Comandos do Sistema de Sincronismo

Os comandos do sistema de sincronismo permitem obter uma imagem estabilizada dos sinais, tanto para sinais periódicos como, em certos osciloscópios, para sinais transitórios ("passageiros"). Como exemplo de comandos típicos de um osciloscópio analógico, temos os descriminados na Figura 2, para o caso de um osciloscópio digital, temos o exemplo da figura seguinte:

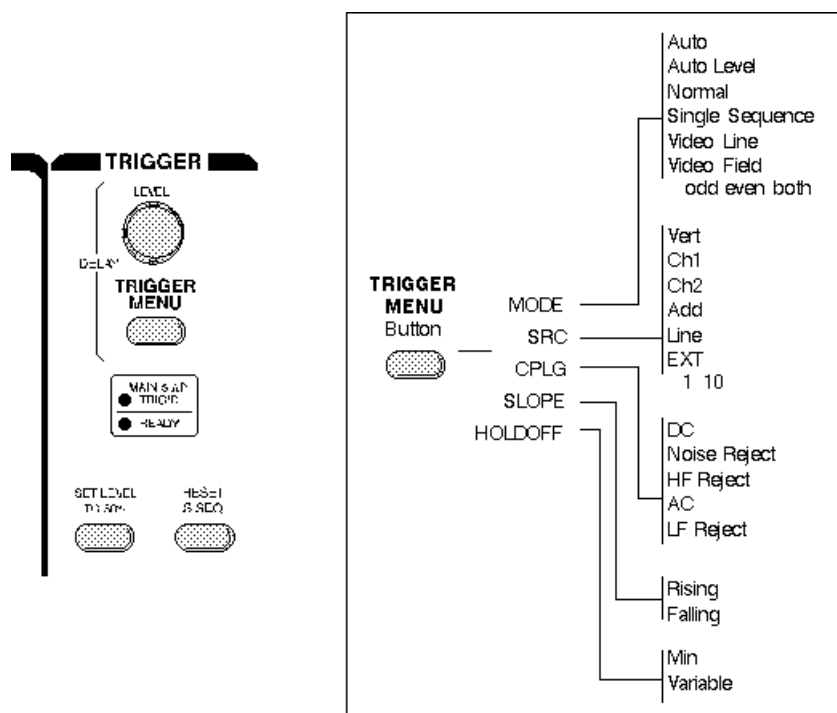



Figura 42: Comandos do sistema de sincronismo e respectivos menus ([Tektronics, 1997a])

O sistema de sincronismo permite que os sinais periódicos apareçam "parados" (estabilizados) no écran do osciloscópio. Tal como foi já explicado atrás, se o sinal de dente de serra (que serve de base de tempo) não fosse disparado pelo sistema de

sincronismo, em cada varrimento o sinal começaria a ser desenhado num sítio diferente. As consequências de uma perda de sincronismo são exemplificadas na Figura 43.

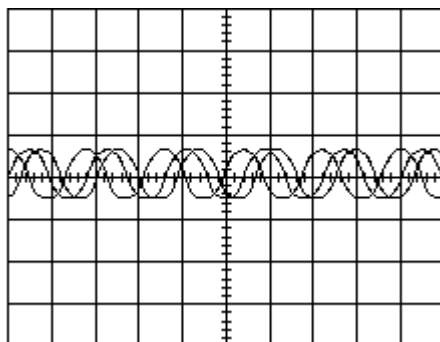



Figura 43: Sinal não sincronizado ([Tektronics, 1997a])

Tal como se pode ver na Figura 43, em cada varrimento o sinal é desenhado em sítios diferentes do écran, impossibilitando uma análise adequada do sinal.

Comandos do Nível (*Level*) e da Inclinação (*Slope*) do Disparo (*Trigger*)

Estes dois comandos são, de algum modo, indissociáveis, dado que a conjugação dos seus valores vai definir o momento do disparo do varrimento (o momento em que se começa a desenhar a forma de onda).

O circuito de disparo (*trigger*) age como um comparador. Nós definimos o nível e a inclinação da tensão de uma das entradas do comparador. Na outra entrada do comparador está o sinal de entrada (a ser comparado). Quando o sinal de entrada verifica as condições predefinidas (nível e inclinação de tensão), o osciloscópio gera o disparo.

A inclinação do disparo define se o disparo se faz na subida (inclinação positiva) ou na descida (inclinação negativa) do sinal de entrada. O nível de disparo determina em que nível de tensão do sinal de entrada é que se dá o disparo.

A Figura 44 mostra como o nível e a inclinação do disparo alteram o modo como uma forma de onda é visualizada. Para o sinal de entrada representado (esquerda), são escolhidos um nível de disparo de 3 V e inclinação positiva (écran de cima) ou negativa (écran de baixo).

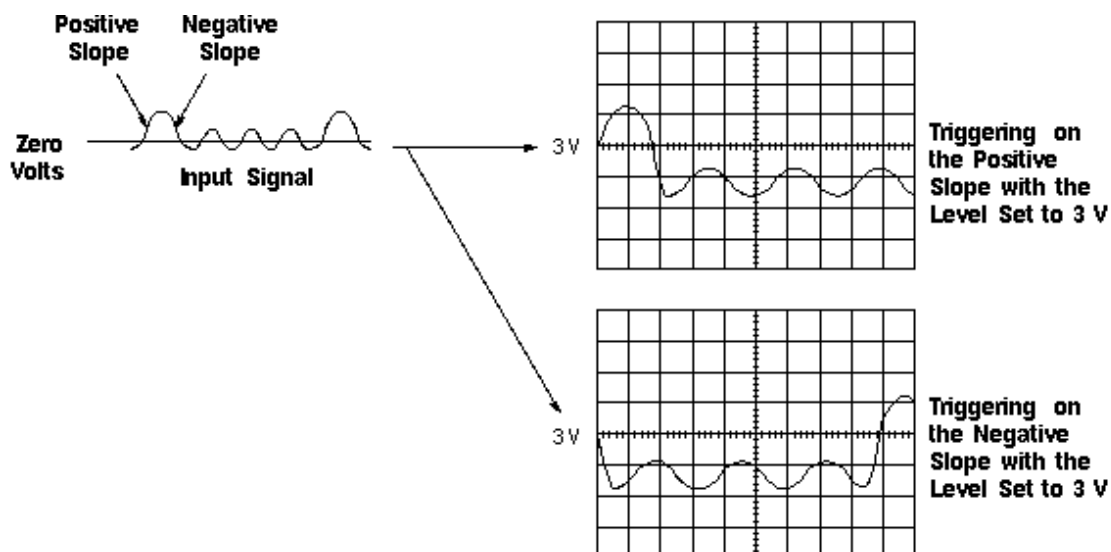



Figura 44: Nível e inclinação de disparo ([Tektronics, 1997a])

O comando de nível e inclinação de disparo existe sempre, tanto nos osciloscópios analógicos (comando 28 do osciloscópio da Figura 2) como nos osciloscópios digitais (*LEVEL* e *SLOPE Rising/Falling*, na Figura 42).

Comando da Fonte de Disparo (*Trigger Source*)

Nem sempre o sinal que pretendemos visualizar é utilizado para o comparador do sistema de sincronismo. Isto é, não é o sinal de entrada que é comparado com o nível e inclinação de disparo, mas sim outro sinal. As fontes de disparo podem ser, nomeadamente, as seguintes:

- O sinal aplicado a qualquer canal de entrada.
- Uma fonte externa, sem ser um sinal aplicado a um canal de entrada.
- O sinal da rede de alimentação (corrente alternada, valores nominais de 230 V, 50 Hz).
- Um sinal gerado internamente pelo osciloscópio.

Na maior parte dos casos, a fonte de disparo é o próprio sinal a ser visualizado.

No osciloscópio da Figura 2, o comando 25 permite escolher como fonte de disparo um sinal interno (*INT*), a rede alimentação (*LINE*) ou um sinal externo (*EXT*) aplicado à entrada externa (terminal 27, onde se liga a fonte de disparo externa).

A fonte interna pode ser definida através do comando 26 (*INT TRIG*), podendo ser o canal 1 (*CH1*), o canal 2 (*CH2*) ou os dois canais alternadamente (*VERT MODE*).

O modo vertical utiliza-se no caso de pretendermos visualizar simultaneamente dois sinais de frequências diferentes. De facto, no caso de sinais com frequências diferentes, se a fonte de disparo for o canal 1, aparece a forma de onda do canal 1 estabilizada

(sincronizada) e a forma de onda do canal 2 não estabilizada (dessincronizada). De modo inverso, se passar a ser o sinal aplicado ao canal 2 a fonte de disparo, passamos a ter o canal 2 estabilizado e o canal 1 desestabilizado.

No caso do modo vertical, o circuito de disparo (nível e inclinação) é comparado alternadamente com o canal 1 e com o canal 2, consoante se vai desenhar a forma de onda do canal 1 ou canal 2, respectivamente. Deste modo é possível estabilizar a imagem dos dois sinais no écran.

No caso do osciloscópio apresentado na Figura 42, podemos escolher a fonte de disparo na opção *SRC* do menu.

Comando do Modo de Disparo (*Trigger Mode*)

Os dois principais modos de disparo são o **automático** e o **manual**, sendo o primeiro o mais utilizado. Basicamente, enquanto modo manual só desenha a forma de onda se houver sincronismo, o modo automático desenha-a, mesmo quando desestabilizada.

No modo normal, o osciloscópio apenas faz o varrimento se o sinal fonte de disparo atingir o ponto de disparo (o nível e inclinação de disparo especificados). De outra forma, no caso de um osciloscópio analógico, nada é desenhado ou, no caso de um osciloscópio digital, é mantida a imagem da última forma de onda a ser adquirida. O modo manual pode confundir um pouco, dado que nada é desenhado se o nível e a inclinação de disparo não estiverem adequadamente ajustados. Aconselha-se a utilização deste modo ([Hitachi, 1990]) quando se pretendem sincronizar sinais de baixas frequências (menores do que 25 Hz).

No modo automático, o osciloscópio executa o varrimento, mesmo sem haver o ponto de disparo. Neste caso, os varrimentos são feitos uns a seguir aos outros, sem qualquer controlo. De qualquer forma, este modo do sistema de sincronismo permite que se visualize sempre "alguma coisa", mesmo que não haja sincronismo.

Por exemplo, é garantido que, para obter a imagem da Figura 43, nunca se poderia ter utilizado o modo de disparo normal (seria provavelmente o automático).

Alguns osciloscópios incluem ainda outros modos de disparo, que poderão ser de grande utilidade, dependendo das aplicações:

- Varrimento único (conhecido como *Single Sweep* ou *Single Sequence*, no caso da Figura 42), interessante para analisar regimes transitórios.
- Ajuste automático do nível de disparo (*Auto Level*, na Figura 42).
- Disparo de sinais de vídeo, nomeadamente:

  Visualização de uma trama (ou sinal horizontal)

  - TV(H), no osciloscópio da Figura 2.
  - *Video Line*, no osciloscópio da Figura 42.

  Visualização de um quadro (ou sinal vertical)

  - TV(V), no osciloscópio da Figura 2.

- *Video Field*, no osciloscópio da Figura 42 (sendo ainda possível ver apenas as linhas ímpares (*odd*), apenas as linhas pares (*even*) ou ambas (*both*)).

O disparo de sinais de vídeo é exemplificado em '7.2. Análise de Sinais de Vídeo'.

Comando do Acoplamento de Disparo (Trigger Coupling)

O ajuste do nível de disparo para um sinal com grande componente contínua poderá ser problemático, dado que o sinal poderá estar fora do alcance dos níveis máximo e mínimo do comparador. Para solucionar este problema, a maior parte dos osciloscópios (não é o caso do osciloscópio da Figura 2) possibilita a filtragem da componente contínua do sinal que vai ser comparado com o nível de disparo. Aparece portanto um comando de **acoplamento de disparo**.

Este comando, além do acoplamento ***DC*** e *AC*, análogos aos já referidos para o sistema vertical, poderá ainda dispor de outros modos de acoplamento, tais como a rejeição (filtragem) de altas frequências, a rejeição de baixas frequências ou a rejeição de ruído (opções ***HF Reject***, ***LF Reject*** e ***Noise Reject***, do menu de *CPLG*, no osciloscópio da Figura 42).

É óbvio o interesse destes tipos de acoplamento, em determinadas situações. Note-se não é possível sincronizar um sinal que esteja afectado de ruído de alta frequência sem utilizar acoplamento especial. Repare-se que, havendo ruído (aleatório) de alta frequência, é impossível disparar o varrimento sempre nos mesmos pontos, dado que o sinal tem flutuações aleatórias. Utiliza-se neste caso a rejeição de altas frequências ou a rejeição de ruído (é obrigatório consultar o manual do osciloscópio).

Comando do Tempo de Espera de Disparo (Trigger Holdoff)

Por vezes, é extremamente difícil conseguir que o osciloscópio dispare um sinal no instante correcto. Muitos osciloscópios têm características especiais para facilitar esta tarefa (não é o caso do osciloscópio da Figura 2).

O tempo de espera do disparo é um período de tempo ajustável durante o qual o osciloscópio não pode disparar. Esta característica é útil quando pretendemos analisar formas de onda complexas, de modo a que o osciloscópio apenas dispara no primeiro ponto de disparo após o tempo de espera. A Figura 45 mostra a utilidade do tempo de espera de disparo, para a visualização adequada de um sinal.

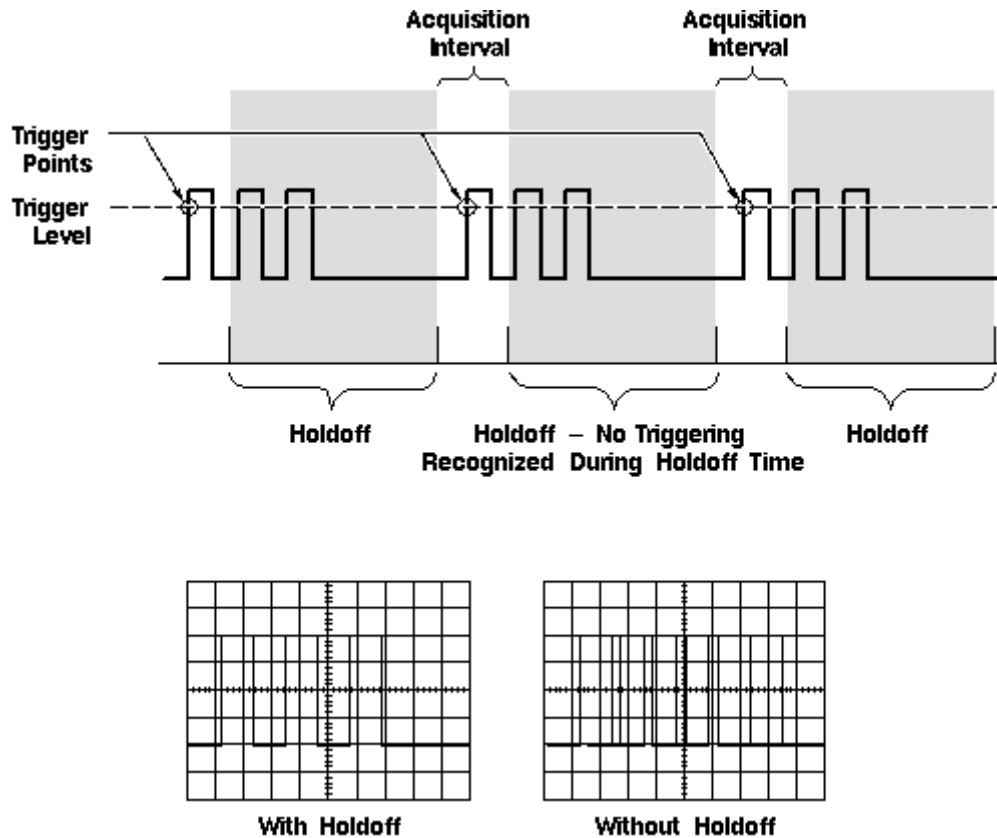



Figura 45: Tempo de espera de disparo ([Tektronics, 1997a])

Saliente-se que o ajuste do tempo de espera do disparo não se encontra unicamente nos osciloscópios digitais. Saliente-se que, mesmo para os osciloscópios sem esta opção (o ajuste do tempo de espera) existe um tempo mínimo de espera que corresponde à duração do sinal em dente de serra. No fundo, é o mesmo que dizer que enquanto o sinal está a ser desenhado, não irá ser feito outro varrimento.

5. TÉCNICAS DE MEDIÇÃO

Pretende aqui dar-se uma noção de algumas técnicas de medição, utilizando o osciloscópio. Os dois tipos mais básicos de medição são a medição de tensão e a medição de tempo. Todos os outros tipos de medição se baseiam numa destas duas técnicas fundamentais.

Discutem-se aqui métodos para fazer medições através da visualização do écran do osciloscópio. No entanto, existem já muitos osciloscópios que efectuam certas medições automaticamente. Se bem que esta automação das medições apareça "naturalmente" nos osciloscópios digitais, devido à facilidade do processamento de informação digital (por *software* apropriado), também existem osciloscópios analógicos que efectuam algumas medições automaticamente. De qualquer forma, mesmo no caso de osciloscópios com estas características, é fundamental que o utilizador seja capaz de analisar visualmente os sinais, de modo a entender e verificar as suas medições automáticas.

5.1. O Écran

Olhando para o écran de um osciloscópio, tal como o da Figura 46, podemos constatar que nele existe marcada uma grelha. Cada linha horizontal e vertical constitui uma divisão grande (*Major Division*, na Figura 46). Na generalidade dos casos, existem 8 divisões horizontais e 10 divisões verticais.

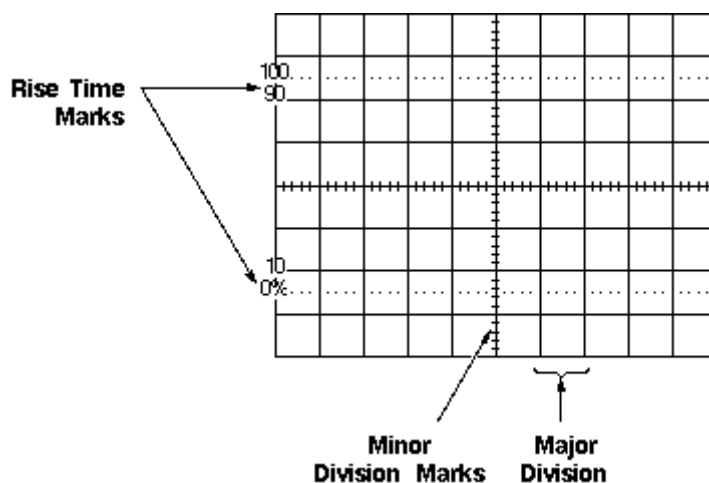



Figura 46: Écran típico de um osciloscópio ([Tektronics, 1997a])

As indicações nos comandos do osciloscópio - Volts/Div e Sec/Div - referem-se sempre às divisões grandes. No entanto, nas divisões vertical e horizontal que dividem a meio o écran, existem outras divisões marcadas, as chamadas divisões pequenas ou subdivisões (*Minor Division Marks*, na Figura 46). Estas permitem fazer medições mais exactas, através da deslocação horizontal e vertical das formas de onda (ajustando os comandos *POSITION* dos sistemas horizontal e vertical).

Muitos osciloscópios (todos os digitais) mostram no écran vários tipos de informações, nomeadamente a amplificação vertical escolhida (Volt/Div) e a velocidade de varrimento (Sec/Div). A figura seguinte é disso exemplo:

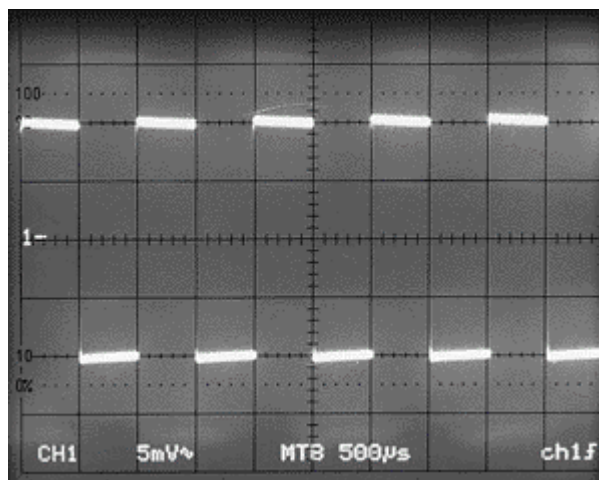



Figura 47: Informações no écran ([Fluke, 1997b])

No écran apresentado, aparece o canal visualizado (CH1), a amplificação e acoplamento vertical (5 mV ~), a velocidade de varrimento (500 µs) e a fonte de disparo (ch1, na subida). Quase todos têm também marcações no écran que definem 0%, 10%, 90% e 100% da escala vertical (*Rise Time Marks*, na Figura 46), para auxiliar na medição de tempos de subida (descrito mais à frente).

5.2. Ajuste Inicial dos Comandos

Após ligar o osciloscópio é necessário proceder a um ajuste inicial dos comandos para conseguir obter uma primeira visualização do sinal. Deve portanto olhar-se para o painel frontal e tentar caracterizar os vários blocos fundamentais já referidos atrás: sistema vertical, sistema horizontal e sistema de sincronismo. O osciloscópio poderá ter outros blocos, dependendo do tipo (analógico ou digital) e do modelo.

O primeiro passo para a visualização de um sinal eléctrico no osciloscópio é ligar a ponta de prova ao terminal do sistema vertical (8 ou 9 na Figura 2). A maior parte dos osciloscópios tem dois canais de entrada, podendo visualizar-se cada um (isoladamente ou simultaneamente) no écran. Os osciloscópios de múltiplos canais facilitam na comparação de formas de onda.

Alguns osciloscópios (digitais) têm um botão de 'Autoset' ou 'Preset' que ajustam automaticamente os comandos necessários para se visualizar um sinal. Se o osciloscópio de que dispomos não tem esta característica, é necessário, antes de qualquer medição, ajustemos esses comandos para posições "de referência". Um possível algoritmo para a inicialização dos comandos do osciloscópio, tendo como referência o osciloscópio da Figura 2, é o seguinte:

' Ajuste dos comandos do écran (eixo ZZ)

POWER (1) = ON

INTENSITY (6) = Meio da escala

FOCUS (3) = Meio da escala

‘ Ajuste dos comandos do sistema horizontal

TIME/DIV (22) = Meio da escala

SWP/VAR (23) = Desligado

POSITION (24) = Meio da escala

‘ Ajuste dos comandos do sistema vertical

MODE (18) = CH1 ‘ Modo de visualização

AC-GND-DC (11) = GND

POSITION (16) = Meio do écran

AC-GND-DC (11) = DC

VAR/PULL x5 GAIN (14) = Desligado

VOLTS/DIV (12) = Meio da escala

‘ Ajuste dos comandos do sistema de sincronismo

MODE (29) = AUTO

SOURCE (25) = INT

LEVEL (27) = Meio da escala

INT TRIG (26) = CH1

Estas são as indicações genéricas para o ajuste inicial do osciloscópio. Quando não nos sentimos seguros quanto à forma de proceder, devemos recorrer ao manual de utilização do aparelho. Este tem sempre uma explicação do funcionamento dos seus comandos bem como costuma ter uma descrição do ajuste inicial desses comandos, de modo a conseguir obter uma primeira visualização de um sinal. Uma descrição mais pormenorizada dos comandos é feita na secção ‘4. Descrição dos Comandos’.

5.3. Medição de Tensão

O osciloscópio é, primariamente, um aparelho para a medição de tensão. Uma vez medida a tensão, pode efectuar-se a medição indirecta de outras grandezas. Por exemplo, através da Lei de Ohm pode obter-se o valor da corrente à custa da tensão e da resistência. De igual modo, pode obter-se a potência consumida por um dado dispositivo a partir da tensão e da corrente (P = U.I).

Para sinais alternados, é comum identificarem-se três tipos de tensão:

- Tensão de pico (*Peak Voltage*), normalmente simbolizada por ‘Up’.
- Tensão pico-a-pico (*Peak-to-Peak Voltage*), denominada de ‘Upp’.
- Tensão eficaz ou tensão quadrática média (*RMS Voltage or Effective Voltage*), designada por ‘U’.

A Figura 48 exemplifica os três tipos de tensão para o caso particular de uma onda alternada sinusoidal:

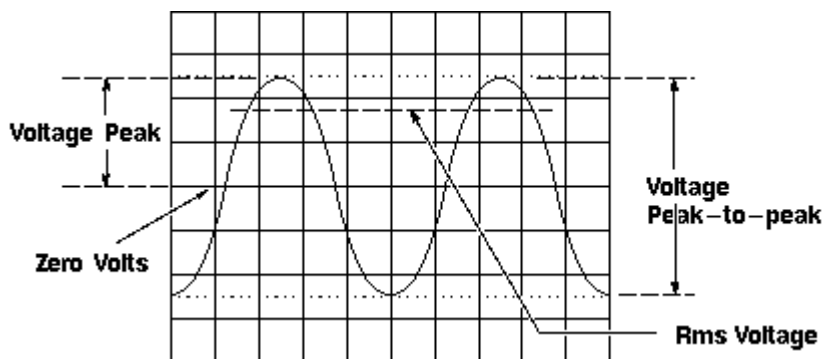



Figura 48: Os três tipos de tensão de um sinal alternado sinusoidal ([Tektronics, 1997a])

Para o caso de um sinal alternado sinusoidal, a tensão eficaz é √2 vezes menor do que a tensão de pico.

A medição de tensão é feita contando o número de divisões na escala vertical do osciloscópio. Primeiro, deve ajustar-se o comando de amplificação vertical do sinal de modo a que a forma de onda cubra a maior área de écran possível. Quanto maior área coberta, maior a exactidão da medição. Seguidamente, a medição deve efectuar-se utilizando como referência a divisão central, que está dividida em divisões pequenas, permitindo uma medição mais exacta (ver Figura 49).

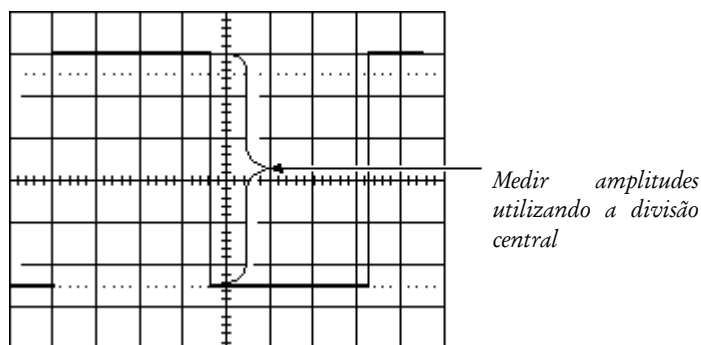



Figura 49: Medição de tensão no eixo vertical ([Tektronics, 1997a])

Tomando como exemplo a forma de onda visualizada na Figura 49, suponhamos que a amplificação vertical é de 0.5 Volt/Div. Se não houver atenuação da ponta de prova, o valor da tensão pico-a-pico da onda quadrada é:

Upp = 5.4 Div x 0.5 Volt/Div = 2.7 V

Se a ponta de prova atenuasse 10X, ficava:

Upp = 5.4 Div x 0.5 Volt/Div x 10 = 27 V

São **extremamente importantes** os seguintes pontos:

1. Não esquecer de **considerar a atenuação da ponta de prova** na medição de tensão.
2. Antes de se efectuar qualquer medição no eixo vertical é verificar se **o comando de amplificação está "calibrado"**, isto é, por exemplo no caso do

osciloscópio da Figura 2, os comandos 14 (canal 1) e 15 (canal 2) devem estar na posição de calibrados (ouve-se um “clique”, como ao ligar um rádio).

3. Devemos ter muito cuidado com a **ligação do terminal de massa da ponta de prova** nos circuitos a testar. Este terminal está ligado à massa do osciloscópio que, por sua vez, está ligada à terra. Só podemos ligar o terminal de massa a pontos que, ou têm um potencial de 0 V, ou têm um potencial flutuante, que pode ser fixado ao potencial da terra pelo próprio osciloscópio. Podemos ultrapassar este problema isolando o terminal de massa da ficha de alimentação do osciloscópio da tomada da rede de alimentação (isolando com um papel, por exemplo, ou ligando o osciloscópio a uma tomada sem ligação de terra).

Adicionalmente ao que foi já referido sobre informação disponível no écran em ‘5.1. O Écran’, muitos osciloscópios (todos os digitais) dispõem de cursores no écran que permitem automatizar a medição de tensão e de tempo, sem ter de contar o número de divisões. Este cursores são duas linhas horizontais para a medição de tensão e duas linhas verticais para a medição de tempo, que podemos deslocar no écran.

5.4. Medição de Período e Frequência

As medições temporais são efectuadas utilizando a escala horizontal do osciloscópio. A medição do período de um sinal, da largura de um impulso ou dos instantes de vários impulsos são exemplos de medição de tempo. A frequência de um sinal é o inverso do seu período, portanto, medindo o período, pode calcular-se (indirectamente) a frequência.

Tal como o caso da medição de tensão, a medição de tempo é mais exacta se ajustarmos a velocidade de varrimento de maneira a que a parte do sinal a medir cubra a maior área possível do écran. Adicionalmente, a utilização do eixo horizontal (contendo divisões pequenas) permite aumentar a exactidão das medições de tempo (ver Figura 50).

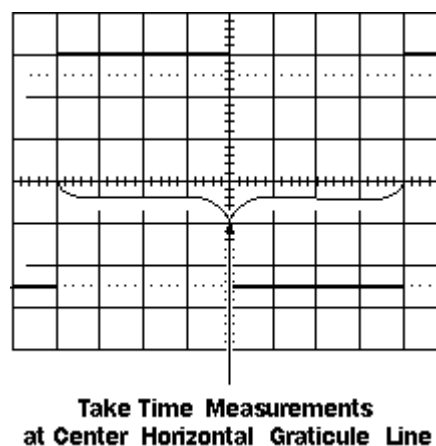



Figura 50: Medição de tempo no eixo horizontal ([Tektronics, 1997a])

Para medirmos um determinado intervalo de tempo, devemos contar o número de divisões dessa parte do sinal na escala horizontal do osciloscópio. Tomando como exemplo a forma de onda visualizada na Figura 50, suponhamos que a velocidade de varrimento é de 1 ms/Div. O valor do período (T) da onda quadrada é:

T = 8 Div x 1 ms/Div = 8 ms

Claro que a frequência do sinal é:

f = 1 / T = 1 / 8 ms = 125 Hz

De modo análogo à medição de tensão, antes de se efectuar qualquer medição no eixo horizontal, é **muito importante** verificar se **o comando de velocidade de varrimento está "calibrado"**. Por exemplo, no caso do osciloscópio da Figura 2, o comando 23 (*SWEEP VAR*) deve estar na posição de calibrado.

5.5. Medição de Tempo de Subida

Em muitas aplicações, é necessário analisar a forma de impulsos de tensão (Figura 51). A sua forma pode determinar o bom ou mau funcionamento de um circuito ou pode permitir extrair determinadas características de um circuito (a resposta a um impulso ou a um degrau permite determinar a função de transferência de um circuito).

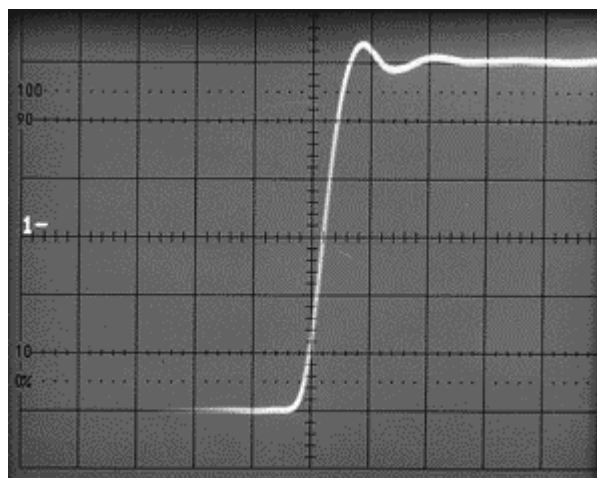



Figura 51: Exemplo de um impulso ([Fluke, 1997b])

O tempo de subida de um impulso é uma das suas características mais importantes. Este representa o tempo que um impulso demora desde um nível baixo até um nível alto de tensão. Por convenção, o tempo de subida é medido entre 10% e 90% da amplitude total do sinal. Isto evita que se tomem em conta quaisquer irregularidades nos pontos transitórios do impulso. Tal como foi já referido em relação à Figura 46, a maior parte dos osciloscópios dispõe de linhas horizontais tracejadas para marcar estas percentagens.

Existem diversos comandos do osciloscópio que permitem uma melhor medição do tempo de subida, nomeadamente:

- Comando de ajuste contínuo do ganho (escolhendo *VAR ON* e ajustando em *VOLTS/DIV*, na Figura 36, ou 14 e 15 na Figura 2). Por variação contínua do ganho, podemos colocar os limites superior e inferior do impulso dentro das linhas de 0% e 100%. Depois, é só medir o intervalo de tempo que vai desde a intersecção do impulso com a linha de 10% e a intersecção do impulso com a linha de 90%. Note-se que na Figura 51 era necessário ajustar o ganho vertical, de modo a que os limites do impulso coincidissem com as marcações de 0% e 100%.
- No caso de haver apenas um impulso (não ser um trem de impulsos), é necessário recorrer ao pré-disparo (*pretrigger*). Obviamente que o disparo de

um impulso só se faz quando acontece o impulso. Ora, se o varrimento se fizer apenas quando se dá a igualdade no comparador do sistema de sincronismo, vai haver uma importante parte do impulso que não é visualizada. Para ultrapassar este problema, é utilizado o pré-disparo, permitindo o análise de pontos do sinal antes do instante de igualdade do comparador.

- No caso de estarmos a lidar com um trem de impulsos, pode ser necessário ajustar o tempo de espera do disparo (*trigger holdoff*), de modo a poder definir um determinado intervalo de tempo em que o comparador do sistema de sincronismo está inibido.
- O comando de magnificação horizontal também pode ser utilizado para analisar um impulso com maior detalhe. No osciloscópio da Figura 2, o comando de magnificação (*X10 MAG*) está reunido com o comando de posicionamento (*POSITION*) no botão 24.

5.6. Medição de Desfasamento

Só faz sentido falar-se de desfasamento entre sinais do mesmo tipo (da mesma frequência, mas não necessariamente da mesma amplitude), isto é, o desfasamento entre dois sinais sinusoidais, o desfasamento entre dois impulsos, etc. O desfasamento de dois sinais é o tempo que demora um dos sinais a "repetir" o outro.

No caso de osciloscópios cujo sistema vertical tem dois canais, a medição do desfasamento entre dois sinais resume-se à medição de um intervalo de tempo, o que já foi explicado. Note-se no entanto que **na medição de desfasamentos, nunca se poderá utilizar o modo vertical** (*VERT MODE*) para o sistema de sincronismo. Tal como foi já dito, dado que neste modo cada sinal serve de referência para o "seu" varrimento, os dois sinais poderão não aparecer no écran com o desfasamento real. Deve portanto utilizar-se apenas um sinal como fonte de disparo (ou o canal 1, ou o canal 2). Note-se que, dado que na medição de desfasamentos os sinais são da mesma frequência, não é necessário utilizar o modo vertical.

No caso de sinais sinusoidais, este "atraso" temporal 'Δt' pode ser convertido num ângulo 'φ' pela expressão:

$$\varphi = \omega . \Delta t$$

em que 'ω' é a velocidade angular, que pode ser calculada por:

$$\omega = 2.\pi.f$$

em que 'f' é a frequência do sinal sinusoidal.

Uma maneira "inteligente de medir directamente (em graus) o desfasamento de sinais sinusoidais é descalibrar a velocidade de varrimento (opção *VAR* do menu, no osciloscópio da Figura 40 e comando 23 no osciloscópio da Figura 2) de modo que um período do sinal coincida exactamente com as dez divisões horizontais. Deste modo, dez divisões correspondem a 360°, pelo que cada divisão (grande) corresponde a 36°. Cada divisão pequena vale portanto 36/5 = 7,2°. Podemos, do mesmo modo, colocar apenas meio período dos sinais (180°, o que corresponde a 18° por divisão grande e 3,6° por divisão pequena), podendo melhorar a exactidão da medição de fase ou desfasamento.

Tendo as duas formas de onda centradas no eixo horizontal é então possível medir directamente o desfasamento entre os dois sinais (sinusoidais).

No caso de osciloscópios apenas com um canal, os métodos atrás referidos não se podem aplicar. De facto, se apenas se pode visualizar um sinal de cada vez, não é possível medir a diferença temporal entre dois sinais. No entanto, existe um outro método para medir desfasamentos, mas apenas para sinais sinusoidais. Trata-se do **método elíptico**, que se pode aplicar recorrendo ao **modo XY** do osciloscópio.

No modo XY, o osciloscópio deixa de aplicar o sinal em forma de dente de serra às placas verticais (e deixa de utilizar o sistema de sincronismo). Em vez disso, é aplicado às placas verticais o sinal que está no canal 2 do osciloscópio. No caso do osciloscópio da Figura 2, este modo pode ser escolhido no comando 22.

Chama-se método elíptico a este método de medir desfasamento, porque o desenho visualizado no écran tem um formato elíptico, que varia dependendo do valor do desfasamento (Figura 52).

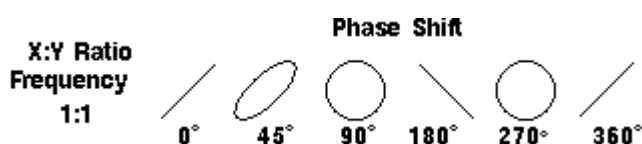



Figura 52: Relação entre o desfasamento e o formato da elipse ([Tektronics, 1997a])

Através da forma da elipse, é possível determinar o desfasamento entre as duas sinusóides.

Para sinusóides de frequências múltiplas, aparecem umas figuras muito interessantes, as chamadas *Figuras de Lissajous* (derivado do nome do físico Francês *Jules Antoine Lissajous*):

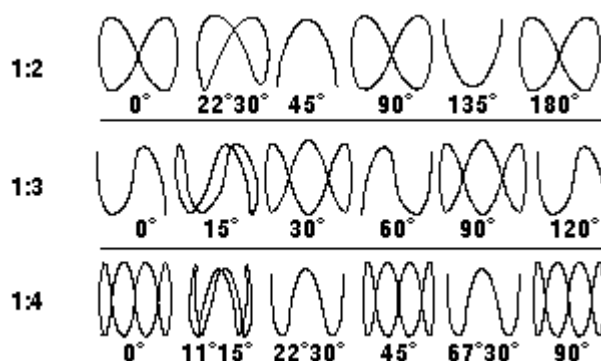



Figura 53: Figuras de Lissajous ([Tektronics, 1997a])

Através da forma de cada *Figura de Lissajous*, é possível determinar a razão de frequência (2:1, 3:1, 1:5, etc.) entre as duas sinusóides. Repare-se que o número de máximos no eixo dos XX a dividir pelo número de máximos no eixo dos YY dá a relação de frequência entre o sinal aplicado ao eixo dos XX e o sinal aplicado ao eixo dos YY.

Como exemplo, veja-se o caso da Figura 52, onde o número de máximos verticais e horizontais é 1, levando a concluir que os sinais são da mesma frequência. No caso da primeira *Figura de Lissajous* da Figura 53, o número de máximos verticais é de 2, enquanto que o número de máximos no eixo horizontal é de 1. Isto significa que o sinal aplicado ao eixo dos YY tem uma frequência dupla do sinal aplicado ao eixo dos XX.

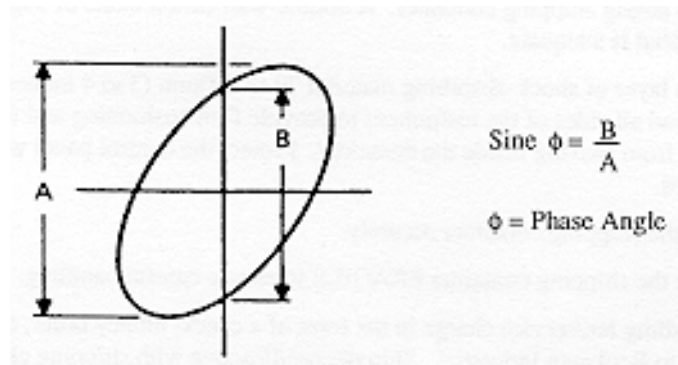



Figura 54: Medição de desfasamento pelo método elíptico ([Beckman, 1990])

No método da elipse, o ângulo de desfasamento pode ser calculado recorrendo à medição de duas amplitudes, tal como se pode ver na Figura 54. A aplicação deste método às elipses da Figura 52 poderá servir para uma melhor apreensão.

Pode ser encontrada em '7.3. Método Elíptico para Medição de Desfasamento' a dedução desta fórmula.

Deve ter-se em conta, como consideração prática para este método, que é extremamente importante colocar o feixe de electrões bem no centro do écran (pelo menos centrado horizontalmente), de modo a que a medição dos valores de 'A' e 'B' seja correctamente efectuada. Isto faz-se colocando o acoplamento dos dois canais em *GND* e usando os comandos de posicionamento vertical (canal 1) e horizontal (base de tempo).

Mesmo para osciloscópios de dois canais (onde se podem medir desfasamentos no domínio dos tempos), o método elíptico tem a vantagem de permitir calcular directamente o ângulo de desfasamento (e não um intervalo de tempo), para sinais sinusoidais.

O modo XY de funcionamento pode ainda ser utilizado em outras aplicações onde seja importante visualizar o gráfico de uma grandeza em função de outra. O caso do traçado do ciclo histerético de um material ferromagnético é um exemplo da utilidade do modo XY.

5.7. Sincronização de Formas de Onda Complexas

Determinados sinais têm formas de onda que poderão exigir um ajuste mais cuidado do sistema de sincronismo. É disso um exemplo claro a forma de onda da Figura 55-(a).

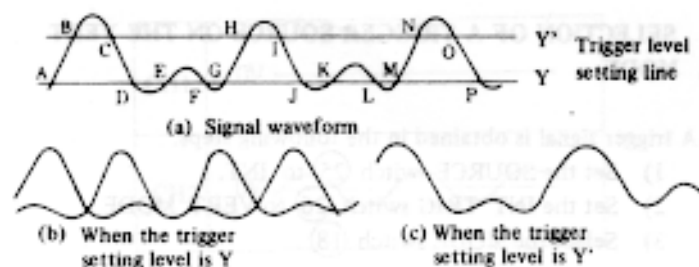



Figura 55: Sincronização de formas de onda complexas ([Hitachi, 1990])

Se o nível de disparo não for adequadamente ajustado, não irá haver estabilização da forma de onda desenhada no écran. No caso em que o nível de disparo escolhido é 'Y',

Poderão haver dois momentos de disparo (duas igualdades no comparador do sistema de sincronismo), nomeadamente 'A' e 'E', para o primeiro período apresentado. Isto poderá levar a que o varrimento não se faça sempre nos mesmos instantes do sinal, levando a uma perda de sincronismo (Figura 55-(b)). No entanto, se subirmos o nível de disparo um pouco acima (Y'), os únicos pontos de igualdade do comparador serão 'B', 'H' e 'N', conseguindo-se assim obter uma imagem estabilizada (Figura 55-(c)).

5.8. Sincronização de Duas Formas de Onda

Se pretendemos visualizar duas formas de onda ao mesmo tempo, devemos considerar duas situações distintas:

- Os sinais têm a mesma frequência ou frequências múltiplas.
- Os sinais têm frequências diferentes (sem serem múltiplas).

No primeiro caso, consegue-se uma imagem estabilizada escolhendo fonte de disparo interna (*INT TRIG*), podendo escolher-se tanto o canal 1 como o canal 2 como fontes de disparo.

No caso de os sinais terem frequências diferentes, se escolhermos como fonte de disparo o canal 1, a forma de onda do canal 1 vai aparecer estabilizada, mas a forma de onda do canal 2 não! No caso de comutarmos a fonte de disparo para o canal 2, vai acontecer o inverso, isto é, passa a estar o canal 2 sincronizado e o canal 1 dessincronizado.

Tem então de se haver um outro modo do sistema de sincronismo que permita a visualização adequada de dois sinais. A este modo de funcionamento, que existe na maior parte dos osciloscópios, Chama-se **modo vertical** (*VERT MODE*, tanto no osciloscópio da Figura 2 como no osciloscópio da Figura 42*)* de funcionamento.

Tal como foi já referido em '4.4. Comandos do Sistema de Sincronismo', no modo vertical, não é sempre o mesmo sinal a ser comparado com o nível (e inclinação) de disparo. De facto, quando se vai iniciar o desenho do sinal ligado ao canal 1, é este sinal que é comparado, quando vai ser desenhado o canal 2, é esse sinal a ser comparado. É assim como que um modo alternado de disparo.

6. REFERÊNCIAS

[Beckman, 1990] Beckman Industrial., *Model 9102 20 Mhz Dual Trace Oscilloscope Operator's Manual*. 🕮

[Campilho, 1986] A. Campilho, *Introdução às Medidas Eléctricas*, Sebenta da Cadeira de Instrumentação e Medidas II, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1986. 🖂

[Fluke, 1997a] Fluke, *http://www.fluke.com/autotools/currentprobes.htm*, 1997.

[Fluke, 1997b] Fluke, *http://www.fluke.com/applications/cal-app4.htm*, 1997.

[Fluke, 1997c] Fluke, *http://www.fluke.com/oscilloscopes/osc_ana.htm*, 1997.

[Fluke, 1997d] Fluke, *http://www.fluke.com/oscilloscopes/osc_dso.htm*, 1997.

[Fluke, 1997e] Fluke, *http://www.fluke.com/autotools/98scopemeter.htm*, 1997.

[Fluke, 1997f] Fluke, *Fluke 1997/8 Catalog*, 1997. 🖂

[Helfrick, 1991] Helfrick, Cooper, *Instrumentação Electrónica Moderna e Técnicas de Medição*, Prentice-Hall do Brasil, 1994. 🖂🕮

[Hitachi, 1990] Hitachi Denshi, Ltd., *Model V-212/211 Oscilloscope Operation Manual*. 🕮

[Jones, 1991] Jones, Chin, *Electronic Instruments and Measurements*, 2nd Edition, Prentice-Hall International Editions, 1991. 🖂🕮

[Tektronics, 1997a] Tektronix, *http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/XYZs/contents.html*, 1995.

[Tektronics, 1997b] Tektronix, *http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/ProbeTutorial/*, 1995.

[Tektronics, 1997c] Tektronix, *http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/Technical_Briefs/DRT Advantage/*, 1995.

[Tektronics, 1997d] Tektronix, *http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/RTvET/ap-RTvET.html*, 1995.

[Tektronics, 1997e] Tektronix, *http://www.tek.com/Measurement/scopes/reference.html*, 1997.

[Tektronics, 1997f] Tektronix, *http://www.tek.com/Measurement/Products/catalog/tds200/eng/welcome.html*, 1997.

[Toyota, 1993] Toyota Motor Corporation - Overseas Service Division, *Electronics Master - Hi-Tech Training Instructions*, Toyota Service Training 1993.

[Yokogawa, 1997] Yokogawa, *http://www.yokogawa.co.jp/Measurement/Products/APGe/DL/DL4100.html*, 1997.

✉ - do autor 📖 - disponível no ISEP

7. APÊNDICES

7.1. Princípio do *Efeito Hall*

O *Efeito Hall* é utilizado para medir a intensidade de um campo magnético.

Se um semicondutor percorrido por uma corrente for colocado no seio de um campo magnético e orientado de tal forma que esse campo magnético seja perpendicular à direcção dessa corrente, irá ser produzida uma f.e.m. na direcção perpendicular às direcções do campo e da corrente (Figura 56).

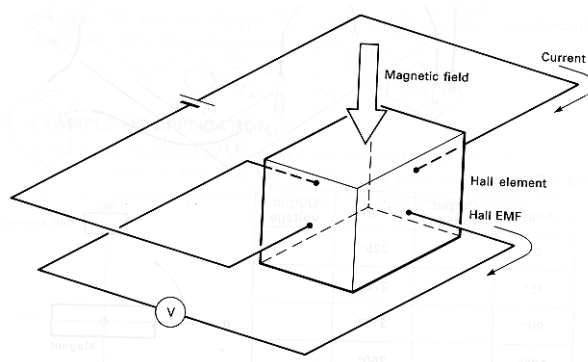



Figura 56: Princípio do Efeito Hall ([Toyota, 1993])

O *Efeito Hall* é utilizado em diversas aplicações, nomeadamente nas pontas de corrente activas (pinças amperimétricas) e em algumas ignições electrónicas (fazendo o papel do antigo ruptor).

7.2. Análise de Sinais de Vídeo

A maior parte dos osciloscópios permite a análise de sinais de vídeo, através de dois modos do sistema de sincronismo - 'TV-V' e 'TV-H' (por exemplo, comando 29 do osciloscópio da Figura 2). O modo 'TV-V' utiliza-se quando se pretende visualizar no écran um quadro do sinal de vídeo. Quando se pretende visualizar apenas uma linha, utiliza-se o modo 'TV-H'.

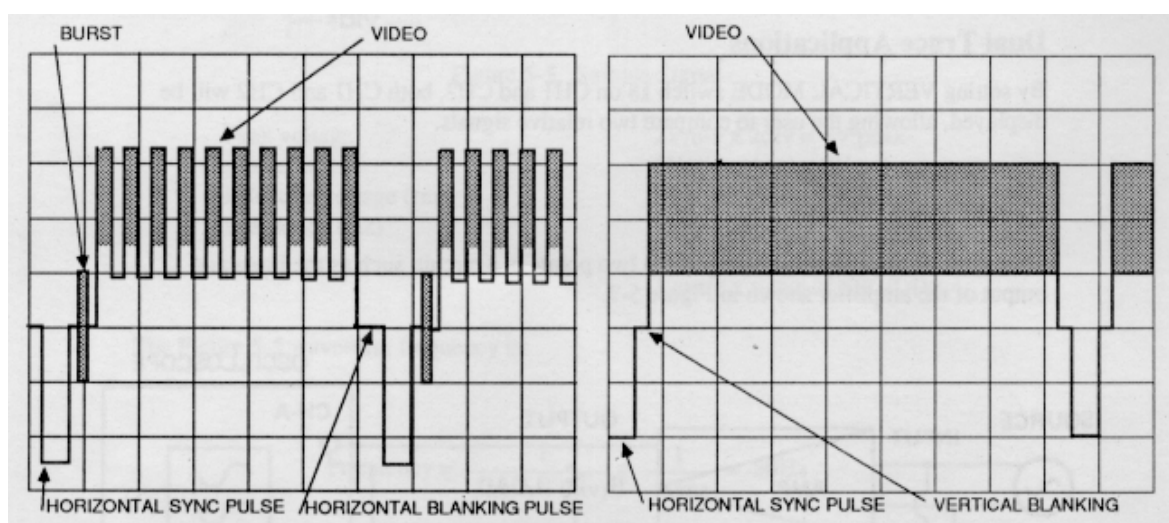



Figura 57: Visualização de sinais de vídeo (linha e quadro) ([Beckman, 1990])

Nota: Um quadro compreende um determinado número de linhas. No sistema de televisão utilizado em Portugal, cada imagem obtida no televisor é constituída por dois quadros. Num quadro, desenham-se as linhas ímpares, no outro, as linhas pares, de modo a reduzir a cintilação do écran (desenham-se 50 quadros por segundo, o que corresponde a 25 imagens por segundo).

Pode visualizar-se na Figura 57 que existem determinadas "marcas" no sinal de vídeo que "ensinam" ao televisor quando é que deve começar a desenhar uma nova linha (*horizontal sync pulse*), ou quando é que deve retornar o canto superior esquerdo do écran para desenhar um novo quadro (*vertical blanking*).

7.3. Método Elíptico para Medição de Desfasamento

Para esta dedução, devem ter-se em conta os valores 'A' e 'B' definidos na Figura 52.

Considerando as seguintes expressões matemáticas para duas ondas alternadas sinusoidais desfasadas de um ângulo φ:

$$u_x(t) = A_x.\sin(\omega t)$$
$$u_y(t) = A_y.\sin(\omega t + \varphi)$$

em que $u_x(t)$ e $u_y(t)$ são os sinais de tensão aplicados ao eixo dos XX e ao eixo dos YY, respectivamente, podemos dizer que:

$$\frac{A}{2} = A_y$$
$$\frac{B}{2} = u_y(t)\Big|_{u_x(t)=0} = A_y.\sin(\omega t + \varphi)\Big|_{u_x(t)=0}$$

(Repare-se que 'B' é a amplitude vertical quando não há tensão aplicada no eixo dos XX.)

Mas

$$u_x(t) = 0 \Rightarrow A_x.\sin(\omega t) = 0 \Rightarrow \omega t = k.\pi,\ k=0,\ 1,\ ...$$

e

$$K = 0 \Rightarrow \omega t = 0$$

resultando em que

$$\frac{B}{2} = u_y(t)\Big|_{u_x(t)=0} = u_y(t)\Big|_{\omega t=0} = A_y.\sin(\omega t + \varphi)\Big|_{\omega t=0} \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow \frac{B}{2} = A_y.\sin(\omega t)$$

Podemos então concluir que

$$\frac{B}{A} = \frac{A_y.\sin(\varphi)}{A_y} = \sin(\varphi)$$